

Juliana Vieira dos Santos

**APLICAÇÃO DE SIG PARA ANÁLISE DO PERFIL GEOLÓGICO-  
GEOTÉCNICO DO CAMPUS SEDE DA UFSC E ELABORAÇÃO DE CARTAS  
DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÕES UTILIZANDO SONDAGEM SPT**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Rafael Augusto dos  
Reis Higashi, Dr.

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Juliana Vieira dos

Aplicação de SIG para análise do perfil geológico  
geotécnico do Campus sede da UFSC e elaboração de cartas de  
aptidão para fundações utilizando sondagem SPT / Juliana  
Vieira dos Santos ; orientador, Rafael Augusto dos Reis  
Higashi ; coorientador, Alexandre Hering Coelho. -  
Florianópolis, SC, 2016.  
200 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Sistemas de Informações  
Geográficas (SIG). 3. Sondagens SPT. 4. Cartas de aptidão  
para fundações. 5. Análise geológico-geotécnica. I. Higashi,  
Rafael Augusto dos Reis. II. Coelho, Alexandre Hering.  
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Juliana Vieira dos Santos

**APLICAÇÃO DE SIG PARA ANÁLISE DO PERFIL GEOLÓGICO-  
GEOTÉCNICO DO CAMPUS SEDE DA UFSC E ELABORAÇÃO DE CARTAS  
DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÕES UTILIZANDO SONDAGEM SPT**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Florianópolis, 15 de dezembro de 2016.

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do PPGEC/UFSC

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.  
Orientador

---

Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.  
Coorientador

---

Prof. Lázaro Valentin Zuquette, Dr.  
Universidade de São Paulo (Videoconferência)

---

Prof. Liseane Padilha Thives, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Francisco Henrique de Oliveira, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina





Àqueles que são meu alicerce e despertam em mim a vontade de evoluir constantemente. Pai, mãe, Rô e Guto, meu carinho e minha eterna gratidão!



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida e pela força concedida ao longo dessa caminhada, especialmente nos momentos mais difíceis.

À minha amada família, Pai, Mãe, Rodrigo, Vó Leoni e Madrinha pelo amor incondicional, constante apoio e imenso carinho, sem os quais essa jornada não teria o mesmo sentido.

Ao meu parceiro de vida há tantos anos, Guto Albuquerque, por toda a caminhada que percorremos juntos até o dia de hoje, pela paciência, compreensão, cuidados e grande ajuda durante a digitalização dos infindáveis laudos de sondagem.

Aos meus queridos, Tânia, Antônio Augusto, Vó Judith, Tio Heitor e Tio Eduardo por acreditarem sempre em meu potencial e torcerem muito pelo meu sucesso.

À família PET Engenharia Civil, por ser a responsável pela eminente transformação em minha vida profissional e pessoal, principalmente, por ter me concedido os melhores eternos amigos: Alex, Camile, Fábio, Flávia, Helen, Jana, Julian, Matheus, Paulo, Renata e Stephanie.

Ao grande amigo, professor e tutor Dr. Cláudio Cesar Zimmermann, pelo exemplo de dedicação e competência, por torcer intensamente pelo meu crescimento e por estar sempre presente.

À amiga mais que especial Eng. Stephanie Thiesen, pelo companheirismo ao longo das disciplinas cursadas no mestrado, dos artigos desenvolvidos em conjunto e do recorrente auxílio durante a elaboração da dissertação.

Ao meu orientador, Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi, pela liberdade e confiança com que me acolheu durante o período de desenvolvimento desta pesquisa, além dos ensinamentos e da compreensão em momentos delicados.

Ao meu coorientador, Dr. Alexandre Hering Coelho, por todo seu conhecimento a mim repassado, pelo entusiasmo e pela objetividade demonstrados no decorrer dos meses de suporte.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade de me desenvolver academicamente desde a graduação por meio de sua estrutura física e seu corpo docente de excelência.

Ao Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina (LabTrans/UFSC) por fornecer um ambiente flexível ao desenvolvimento de minhas atividades acadêmicas e pela compreensão nos momentos mais críticos.

Aos queridos amigos de trabalho, em especial, Luiza, Fariel, Amanda, Rafa, Claudinha, Gui, Marina, Jervel, Pri, André e Nohra pelo aprendizado diário, compreensão, apoio e incentivo prestados no decorrer do desenvolvimento de minha dissertação

Aos bolsistas do Grupo de Trabalho em Sistema de Informações Geográficas (GTSIG) e do Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO) pelo convívio e suporte técnico.

Ao Eng. Rodrigo Bossle, ao Departamento de Obras e Manutenção Predial e ao Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia, desta Universidade, pelo fornecimento dos dados fundamentais para a realização do estudo, pelo suporte, credibilidade e estímulo à realização do trabalho.

A todos aqueles que, embora não tenham sido citados, contribuíram de alguma maneira na concretização desta dissertação.

*“A persistência é o menor caminho do êxito.”  
(Charles Chaplin)*



## RESUMO

O presente trabalho trata, inicialmente, da estruturação de um banco de dados geológico-geotécnicos espaciais para o Campus sede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), situado no município de Florianópolis/SC, por meio de sondagens SPT. Para isso, foram coletados 507 laudos de sondagens à percussão realizadas na área de estudo e, posteriormente, foi realizada uma série de tratamentos, incluindo a espacialização dos dados SPT. Em paralelo, mapas temáticos foram desenvolvidos, representando os seguintes temas: Modelo Digital do Terreno (MDT), declividade, hidrografia, edificações e malha viária. Em seguida, por meio da associação da base de dados elaborada aos mapas temáticos gerados e ao mapeamento geotécnico da cidade de Florianópolis, pode-se analisar o perfil geológico-geotécnico da área de estudo, mediante o desenvolvimento de cartas de solos em cada profundidade e elaboração de cartas de aptidão para fundações. Nesse sentido, foram geradas cartas da superfície do impenetrável a percussão, da superfície freática, assim como de isovalores de  $N_{SPT}$  para diversas camadas. Ademais, a partir de métodos empíricos e semiempíricos disponíveis na literatura, foram geradas cartas de orientação quanto ao tipo de fundação: superficial ou profunda, tensões admissíveis do solo e comprimento máximo de estacas. A pesquisa permitiu concluir que a aplicação da ferramenta SIG no processamento e modelagem do banco de dados geológico-geotécnicos, gerando-se cartas orientativas a tomada de decisão, é válida por propiciar resultados estratégicos no âmbito do planejamento e fornecer informações em linguagem técnica aos profissionais da área.

**Palavras-chave:** Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Sondagens SPT. Cartas de aptidão para fundações. Análise geológico-geotécnica. Florianópolis, SC





## ABSTRACT

This study aims to structure a spatial geological-geotechnical database for the head campus of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) through Standard Penetration Test (SPT) boreholes. To accomplish so, reports were collected of 507 SPT boreholes performed in the area of study, followed by a series of processes, including spatializing the SPT data. At the same time, thematic maps were developed, representing the following themes: Digital Terrain Model (DTM), slopes, hydrography, edifications, and road grid. Afterwards, by associating the devised database with the generated thematic maps and the geotechnical mapping of the city of Florianópolis, it was made possible to analyze the geological-geotechnical profile of the area of study, through the development of soil maps for each depth layer and foundation suitability maps. In this sense, impenetrable layer surface, groundwater level, as well as  $N_{SPT}$  isovalues maps for various depths were produced. Furthermore, through empirical and semi-empirical approaches available in the literature, this study produced orientation maps regarding foundation type: shallow or deep, allowable stress of the soil, and maximum length of pile. The research led to the conclusion that the application of the Geographic Information Systems (GIS) tool in the manipulation and modeling of the geological-geotechnical database, which allows for the creation of maps that guide decision making, is valid, as it provides strategic results in the area of planning and supplies professionals of the field with information in technical language.

**Keywords:** Geographical Information System (GIS). Standard Penetration Test (SPT). Foundation Suitability Maps. Geological-geotechnical analysis. Florianópolis, SC.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração da menor porção de um solo ( <i>pedon</i> ) .....	37
Figura 2 – Grau de intemperização e formação dos horizontes .....	38
Figura 3 – Limites de consistência de Atterberg .....	43
Figura 4 – Equipamentos utilizados no ensaio SPT .....	48
Figura 5 – Exemplo de laudo de sondagem para um ponto genérico... 50	
Figura 6 – Exemplo de planta de locação dos furos de sondagem .....	51
Figura 7 – Estimativa do $N_{SPT}$ médio no bulbo de tensões .....	55
Figura 8 – Componentes do Sistema de Informações Geográficas.....	60
Figura 9 – Semivariograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros.....	65
Figura 10 – Localização do Campus sede da UFSC .....	69
Figura 11 – Fluxograma do método de trabalho.....	73
Figura 12 – Localização dos furos de sondagem .....	77
Figura 13 – Digitalização das informações dos laudos de sondagem ...	78
Figura 14 – Análise do impenetrável de furos próximos.....	80
Figura 15 – Inserção da profundidade do NA em pontos situados no rio .....	81
Figura 16 – Análise do tipo de solo quanto sua origem .....	84
Figura 17 – Elaboração do MDT elaborado a partir de rede de triangulação.....	86
Figura 18 – Modelo digital do terreno: Campus sede da UFSC.....	87
Figura 19 – Mapa de declividade: Campus sede da UFSC.....	88
Figura 20 – Mapa de hidrografia: Campus sede da UFSC .....	90
Figura 21 – Mapa de edificações: Campus sede da UFSC .....	91
Figura 22 – Mapa de malha viária: Campus sede da UFSC.....	93
Figura 23 – Análise dos modelos de krigagem para os dados de impenetrável .....	97
Figura 24 – Localização das edificações com laudos de fundações executadas .....	105
Figura 25 – Carta de tipos de solo: 1 metro de profundidade .....	108
Figura 26 – Carta de tipos de solo: 3 metros de profundidade.....	109
Figura 27 – Carta de tipos de solo: 5 metros de profundidade.....	110
Figura 28 – Carta de tipos de solo: 7 metros de profundidade.....	111
Figura 29 – Carta de tipos de solo: 9 metros de profundidade.....	112
Figura 30 – Carta de tipos de solo: 11 metros de profundidade.....	113
Figura 31 – Carta de tipos de solo: 13 metros de profundidade.....	114

Figura 32 – Carta de tipos de solo: 15 metros de profundidade .....	115
Figura 33 – Carta de tipos de solo: 17 metros de profundidade .....	116
Figura 34 – Carta de tipos de solo: 19 metros de profundidade .....	117
Figura 35 – Resultado das interpolações dos solos em cada profundidade .....	119
Figura 36 – Carta de profundidade do impenetrável à percussão.....	121
Figura 37 – Carta de cota do impenetrável à percussão.....	123
Figura 38 – Modelo digital de superfície do impenetrável a percussão .....	124
Figura 39 – Carta de profundidade do nível freático (dados SPT) .....	125
Figura 40 – Modelo digital de superfície do nível freático (dados SPT) .....	126
Figura 41 – Carta de profundidade do nível freático (dados SPT e do Rio Sertão).....	127
Figura 42 – Modelo digital de superfície do nível freático (dados SPT e do Rio Sertão).....	128
Figura 43 – Carta de profundidade do nível freático (dados SPT): período seco .....	130
Figura 44 – Modelo digital de superfície do nível freático: período seco .....	131
Figura 45 – Carta de profundidade do nível freático (dados SPT): período chuvoso .....	132
Figura 46 – Modelo digital de superfície do nível freático: período chuvoso .....	133
Figura 47 – Carta de orientação para fundação: 1 metro de profundidade .....	136
Figura 48 – Carta de orientação para fundação: 2 metros de profundidade .....	137
Figura 49 – Carta de isovalores de tensão admissível: 1 metro de profundidade .....	140
Figura 50 – Carta de isovalores de tensão admissível: 2 metros de profundidade .....	141
Figura 51 – Carta de isovalores de tensão admissível: 3 metros de profundidade .....	142
Figura 52 – Carta de isovalores de tensão admissível: 4 metros de profundidade .....	144
Figura 53 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 1 metro de profundidade....	147
Figura 54 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 3 metros de profundidade ..	148

Figura 55 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 5 metros de profundidade...	149
Figura 56 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 7 metros de profundidade...	150
Figura 57 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 9 metros de profundidade...	151
Figura 58 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 11 metros de profundidade.	152
Figura 59 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 13 metros de profundidade.	153
Figura 60 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 15 metros de profundidade.	154
Figura 61 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 17 metros de profundidade.	155
Figura 62 – Carta de isovalores de $N_{SPT}$ : 19 metros de profundidade.	156
Figura 63 – Resultado das interpolações dos $N_{SPT}$ em cada profundidade .....	159
Figura 64 – Carta de comprimento máximo de estaca hélice contínua .....	161
Figura 65 – Carta de comprimento máximo de estaca pré-moldada ( $\Phi < 30$ cm).....	162
Figura 66 – Carta de comprimento máximo de estaca pré-moldada ( $\Phi > 30$ cm).....	163
Figura 67 – Carta de comprimento máximo de estaca raiz.....	164
Figura 68 – Distribuição espacial para o conjunto de dados de impenetrável a percussão .....	169
Figura 69 – Distribuição espacial para o conjunto de dados de nível d'água.....	170
Figura 70 – Distribuição espacial para o conjunto de dados de $N_{SPT}$ ..	171
Figura 71 – Validação da carta de orientação para fundação: 1 metro de profundidade.....	173
Figura 72 – Validação da carta de orientação para fundação: 2 metros de profundidade.....	175
Figura 73 – Validação da carta de comprimento máximo de estaca hélice contínua .....	177
Figura 74 – Validação da carta de comprimento máximo de estaca pré-moldada ( $\Phi < 30$ cm).....	179
Figura 75 – Validação da carta de comprimento máximo de estaca raiz .....	181



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Formas de ocorrência de solos sedimentares.....	35
Quadro 2 – Principais características dos horizontes do solo .....	37
Quadro 3 – Classificação pedológica e seus horizontes diagnósticos...	40
Quadro 4 – Classificação do solo segundo a granulometria .....	42
Quadro 5 – Classificação do solo segundo seu índice de plasticidade..	44
Quadro 6 – Compacidade e consistência em função do $N_{SPT}$ .....	53
Quadro 7 – Geometria da sapata e profundidade do bulbo de tensões .....	56
Quadro 8 – Valores limites de $N_{SPT}$ para cotas de apoio de estacas .....	56
Quadro 9 – Comparação entre métodos de interpolação .....	67
Quadro 10 – Dados adquiridos e respectivas fontes .....	74
Quadro 11 – Descrição dos atributos que compõe o banco de dados .	95
Quadro 12 – Parâmetros para interpolação .....	98
Quadro 13 – Número mínimo de observações e distância entre os pontos .....	167





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de furos utilizados para análise de NA.....	100
Tabela 2 – Porcentagem de área para cada tipo de solo nas profundidades analisadas .....	118
Tabela 3 – Frequência de área para a profundidade do impenetrável	122
Tabela 4 – Frequência de área para a profundidade do lençol freático .....	129
Tabela 5 – Frequência de área para a profundidade do lençol freático: período seco e período chuvoso .....	134
Tabela 6 – Frequência de área para o tipo de fundação.....	138
Tabela 7 – Frequência de área para as faixas de tensão admissível ...	145
Tabela 8 – Frequência de área para as faixas de $N_{SPT}$ .....	158
Tabela 9 – Frequência de área para os comprimentos máximos das estacas.....	165
Tabela 10 – Porcentagem de área coberta pelo <i>buffer</i> de 200 metros .....	172



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BLUE	<i>Best Linear Unbiased Estimator</i>
Cde	Cambissolo depósitos de encostas
CE	Ceará
CPTU	<i>Piezocene Penetration Test</i>
DEPAE	Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia
DGN/DWG	Extensão de arquivos utilizada pelo AutoCAD®
DMT	<i>DilatoMeter Test</i>
DOMP	Departamento de Obras e Manutenção Predial
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Epagri	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
Gsq	Glei sedimentos quartenários
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Índice de Plasticidade
KML/KMZ	<i>Google Earth Keyhole Markup Language</i>
LAMGEO	Laboratório de Mapeamento Geotécnico
LC	Limite de Contração
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
MPa	Megapascal
MPA	Massa Polar Atlântica
MPM	Ensaio Pressiométrico tipo Ménard
MTA	Massa Tropical Atlântica
NA	Nível d'água
NBR	Norma Brasileira

NE	Nordeste
PB	Paraíba
PDF	<i>Portable Document Format</i>
Pde	Plintossolos depósitos de encosta
RS	Rio Grande do Sul
SAD	<i>South American Datum</i>
SC	Santa Catarina
SDS	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SGBD	Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados
SHP	<i>Shapefile</i> , extensão utilizada pelo ArcGIS®
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SIG	Sistema de Informação Geográfica – <i>Geographic Information System (GIS)</i>
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
SW	Sudoeste
tf	tonelada-força
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
VNT	<i>Vane Test</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System</i>

### LISTA DE SÍMBOLOS

$N_{SPT}$	Índice de resistência à penetração do ensaio SPT, obtido por meio do número de golpes correspondente à cravação de 30 cm do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm
Ta	Argila de alta atividade
Tb	Argila de baixa atividade
$V_s$	Velocidade de propagação da onda de cisalhamento
$\Phi$	Diâmetro
$\sigma_a$	Tensão admissível

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
1.1 OBJETIVO .....	30
1.1.1 Objetivo geral .....	30
1.1.2 Objetivos específicos .....	30
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	31
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>33</b>
2.1 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS .....	33
2.1.1 Classificação geológica .....	34
2.1.2 Classificação pedológica .....	36
2.1.3 Caracterização textural dos solos .....	41
2.2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA .....	45
2.2.1 Sondagem a percussão .....	46
2.2.2 Normatização e execução do ensaio .....	47
2.2.3 Parâmetros e correlações .....	52
2.2.4 Aplicações de dados SPT em estudos recentes .....	57
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE ESPACIAL .....	59
2.3.1 Triangulação com interpolação linear .....	62
2.3.2 Inverso ponderado da distância .....	63
2.3.3 Krigagem .....	63
2.3.4 Comparações entre métodos .....	66
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>69</b>
3.1 FATORES CLIMÁTICOS .....	70
3.2 GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA E PEDOLOGIA .....	70
3.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS .....	71
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>73</b>
4.1 LEVANTAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS PREEXISTENTES .....	74

4.2 TRATAMENTO DOS DADOS .....	75
4.2.1 Dados gráficos.....	75
4.2.2 Laudos de sondagens SPT .....	76
4.2.2.1 <i>Análise dos dados de impenetrável</i> .....	79
4.2.2.2 <i>Análise dos dados de nível d'água</i> .....	80
4.2.2.3 <i>Análise dos tipos de solo</i> .....	82
4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS EM SIG .....	84
4.3.1 Georreferenciamento dos dados .....	84
4.3.2 Elaboração de mapas temáticos .....	85
4.3.2.1 <i>Modelo Digital do Terreno (MDT)</i> .....	85
4.3.2.2 <i>Mapa de declividade</i> .....	87
4.3.2.3 <i>Mapa de hidrografia</i> .....	89
4.3.2.4 <i>Mapa das edificações</i> .....	90
4.3.2.5 <i>Mapa da malha viária</i> .....	92
4.3.3 Desenvolvimento do banco de dados geológico-geotécnico .....	93
4.3.4 Aplicação de geoestatística .....	96
4.3.4.1 <i>Cartas de tipos de solo</i> .....	97
4.3.4.2 <i>Cartas de aptidão para fundações</i> .....	99
4.4 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS .....	104
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>107</b>
5.1 ANÁLISE DO PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO .....	107
5.1.1 Cartas de tipos de solo .....	107
5.2 CARTAS DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÕES .....	120
5.2.1 Cartas de superfície do impenetrável a percussão .....	120
5.2.2 Cartas de superfície freática .....	124
5.2.3 Cartas de orientação para fundações: superficiais ou profundas.....	134
5.2.4 Cartas de isovalores de tensão admissível.....	139

5.2.5 Cartas de isovalores de $N_{SPT}$ .....	145
5.2.6 Cartas de comprimento máximo de estacas .....	160
5.3 LIMITAÇÕES E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS .....	166
<b>6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS .....</b>	<b>183</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	183
6.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	186
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>187</b>





## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitiu o aprimoramento dos trabalhos envolvendo dados georreferenciados por possibilitar análises espaciais complexas, associando dados gráficos e alfanuméricos, de forma a processá-los simultaneamente com agilidade e eficiência. Nesse sentido, a aplicação de ferramenta SIG no estudo dos solos tem-se consolidado no Brasil e no mundo, visto que os resultados das modelagens, expressos em mapas, proporcionam uma melhor interpretação para aqueles que participam da tomada de decisão.

Face aos mapas impressos, os mapas digitais apresentam maior potencial de manipulação e alto dinamismo nas análises, permitindo-se trabalhar com um grande número de informações e com flexibilidade de modificações para atender às necessidades de processos decisórios. Dessa forma, Teixeira, Moretti e Christofolletti (1992) destacam que o ambiente tecnológico em que a ferramenta está inserida propicia, além da coleta e do tratamento da informação espacial, o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações.

Diante do exposto e tendo em vista que o desenvolvimento de modelos numéricos para inferência das variações espaciais dos tipos de solo ou de suas propriedades permite realizar o mapeamento digital de solos (LAGACHERIE e MCBRATNEY, 2007), constata-se que o SIG é uma poderosa ferramenta para a realização de análises inovadoras inerentes ao meio físico. Assim, verifica-se que, como eminentes fontes alimentadoras de modelagens desse âmbito, os resultados obtidos de investigações geotécnicas apresentam uma alternativa interessante, pois fornecem valiosos subsídios às análises de caracterização geológico-geotécnica.

Destarte, dentre os ensaios de reconhecimento do solo, o *Standard Penetration Test* (SPT) é o mais popular, rotineiro e econômico em praticamente todo o mundo (SCHNAID, 2000). Dessa forma, este trabalho toma como base laudos de sondagem SPT para estruturação e implementação de um banco de dados geológico-geotécnico para o Campus sede da UFSC, a ser utilizado como ferramenta de auxílio às ações de planejamento e gestão.

Além disso, de modo a apresentar algumas aplicabilidades da base de dados elaborada em ambiente SIG, aliada a mapas temáticos

também desenvolvidos no presente estudo, são apresentados, como outros resultados desta dissertação, cartas digitais dos tipos de solo da região de estudo em diversas profundidades e cartas de aptidão para fundações, desenvolvidas por meio de análises geoestatísticas.

Por fim, destaca-se que o conhecimento prévio dos parâmetros geológico-geotécnicos e do material do substrato do Campus sede da UFSC, além de contribuir para o estabelecimento de diretrizes ao planejamento da expansão da Universidade, por parte de seus gestores, possibilita a fiscalização dos próximos serviços de sondagens a serem contratados, visto que se tem, de forma organizada e georreferenciada, a compilação de diversos laudos já executados na região de estudo e a estimativa das informações contidas nestes para toda a área do Campus.

## 1.1 OBJETIVO

Serão apresentados a seguir os objetivos geral e específicos deste trabalho.

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral a aplicação de ferramenta SIG para análise do perfil geológico-geotécnico e desenvolvimento de cartas de aptidão para fundações para o Campus sede da UFSC, por meio da utilização de laudos de sondagem SPT.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, este estudo busca:

- a) Construir um banco de dados geológico-geotécnico robusto, a partir de sondagens SPT, para utilização em ambiente SIG para o Campus sede da UFSC;
- b) Elaborar mapas temáticos da região de estudo: MDT, declividade, hidrografia, edificações e malha viária;
- c) Analisar o perfil geológico-geotécnico da área de estudo por meio da elaboração de cartas de solos da área de estudo.
- d) Gerar cartas de aptidão para fundações a partir de sondagens SPT:
  - Superfície do impenetrável à percussão;
  - Superfície freática: período seco e período chuvoso;

- Orientação para o tipo de fundação: superficial ou profunda;
- Tensões admissíveis para fundação superficial;
- Isovalores de  $N_{SPT}$ ; e
- Comprimento máximo de estacas.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além da presente introdução (Capítulo 1) – em que é brevemente explanado sobre o contexto em que o estudo está inserido, bem como seus objetivos geral e específicos – esta dissertação está estruturada nos capítulos descritos a seguir.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica abrangendo os temas técnico-científicos que deram fundamentação teórica ao trabalho (classificação e caracterização dos solos, investigações geotécnicas e Sistemas de Informações Geográficas).

O Capítulo 3 realiza a caracterização da área de estudo, efetivada por meio de dados e estudos preexistentes.

O Capítulo 4 apresenta o método de trabalho utilizado para a análise geológico-geotécnica do Campus sede da UFSC e desenvolvimento de cartas de aptidão para fundações, utilizando-se de geoestatística.

No Capítulo 5 são expostos e discutidos os resultados alcançados com este trabalho.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho desenvolvido, por meio da associação com seus objetivos e de sugestões de estudos futuros.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma síntese da revisão bibliográfica realizada durante a pesquisa, organizada em três grandes blocos, que discorrem sobre os principais temas técnico-científicos contemplados pelo estudo, a saber: Classificação e caracterização dos solos, Investigação geotécnica e Sistemas de Informações Geográfica, incluindo métodos de interpolação.

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Face à ampla utilização do solo no âmbito da engenharia, o estudo do seu comportamento é realizado desde os séculos passados, inicialmente com os trabalhos de Coulomb, em 1773, Rankine, em 1856, e Darcy, em 1856 (ACHTERBERG, 2014). Posteriormente, por meio dos estudos de Karl Terzaghi, a Mecânica dos Solos foi originada em 1936 (PINTO, 2006).

A partir desse momento, o solo passou a ser largamente analisado, uma vez que o conhecimento geotécnico é fundamental para assegurar a estabilidade de obras de engenharia. Nesse sentido, Achterberg (2014) afirma que todo engenheiro civil deve ter consciência de que, quando se trabalha com solos, se está lidando com um material de grande complexidade e de características muito variadas, dependendo da região, topografia e clima.

A diversidade e a ampla diferença de comportamento apresentada pelos diferentes tipos de solo, induziu aos seus agrupamentos em função da similaridade de características e propriedades. Nesse sentido, Thiesen (2016) destaca que há vários métodos de classificação de solos, sendo alguns em função da sua origem, outros da estrutura, da evolução e da presença de matéria orgânica.

No presente trabalho são abordadas as classificações dos solos no âmbito geológico e pedológico, assim como a caracterização textural dos solos por meio de análise granulométrica e índices de consistência, visto que o entendimento desses temas é importante para este estudo pelo fato de embasar a análise do perfil geológico-geotécnico da área de estudo.

### 2.1.1 Classificação geológica

De acordo com Caputo (2005), os solos são formados pela intemperização das rochas ao longo do tempo, seja resultante da desintegração física ou da decomposição química, como a infiltração de água nas trincas oriundas de variações de temperatura. Assim, Jenny (1941) *apud* Oliveira, Jacomine e Camargo (1991) destacam que os fatores responsáveis pelos processos de formação dos solos são cinco: clima, relevo, seres vivos, materiais de origem e tempo. Normalmente, tais fatores atuam simultaneamente, sendo que, em determinados locais e condições climáticas, um deles pode ter predominância em relação ao outro (CAPUTO, 1996).

Dessa forma, sendo os solos uma mistura de partículas de dimensão muito pequena, os quais diferenciam-se entre si pelo tamanho e por sua composição química, pode-se admitir que, além dos agentes de alteração, a rocha de origem é a grande responsável pela caracterização de cada tipo. Das (2007) defende que as propriedades físicas do solo são determinadas, primeiro, pelos minerais que constituem suas partículas, ou seja, pela rocha que deu origem ao solo. Contudo, Caputo (1996) informa que também se encontram nos solos outros minerais que se formam durante o processo de decomposição, denominados de minerais secundários.

Vaz (1996) destaca que a classificação geológica dos solos é feita a partir da rocha de origem e do processo de formação do solo. Assim, Pastore e Fortes (1998) relatam que, geologicamente, os solos se classificam em residuais (*in situ*) ou sedimentares (transportados). Os solos residuais são formados a partir da decomposição das rochas pelo intemperismo químico e/ou físico e permanecem no local onde foram originados, ficando evidente a macroestrutura proveniente da rocha matriz. Por sua vez, os solos sedimentares são aqueles que foram transportados por agentes geológicos do local onde se formaram até o local em que foram depositados, havendo, portanto, diferentes formas de ocorrência desse tipo de solo, os quais são expostos no Quadro 1.

Quadro 1 – Formas de ocorrência de solos sedimentares

Solo sedimentar	Descrição
Aluviões	Resultado do transporte por cursos d'água, são depósitos de materiais erodidos e retrabalhados situados nos leitos e margens de rios, assim como nos fundos e nas margens de lagoas e lagos.
Terraços fluviais	Decorrente da condução por cursos d'água em tempos passados, são aluviões antigos que se depositaram quando o nível d'água se encontrava em posição superior ao atual.
Coluviões	Formado pela ação da água e, principalmente, da gravidade, são depósitos de materiais inconsolidados, comumente encontrados acobertando encostas íngremes.
Tálus	Originado por meio da ação da água e, principalmente, da gravidade, são depósitos compostos predominantemente por blocos de rocha de variados tamanhos, os quais ocupam os sopés das encostas de relevos acidentados.
Sedimentos marinhos	Produzidos em ambientes de praia ou de mangues por meio de oscilações do nível do mar, são depósitos de sedimentos constituídos de areias limpas, finas a médias e quartzosas ou muito finos e argilosos.
Solos eólicos	Transportados e depositados pela ação do vento, são compostos por areia fina quartzosa de granulometria bem arredondada.

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Segundo Andrade (2003), as texturas dos solos sedimentares podem variar conforme o agente transportador e a distância de transporte. Entretanto, algumas características comuns permitem obter evidências que os diferencia dos solos residuais, visto que estes possuem coloração variando em tons quentes, como vermelho, amarelo, marrom, assim como variegado, enquanto que os solos sedimentares possuem coloração próxima a cores frias, como cinza, branca, verde e azul. Além disso, os solos residuais apresentam um ganho de resistência conforme aumenta a profundidade, enquanto que, geralmente, os solos sedimentares possuem uma variação de resistência entre suas camadas, ou seja, não são crescentes, em função da mistura de partículas ocorrida durante o seu transporte.

Entretanto, destaca-se que a resistência e a coloração não são suficientes para diagnosticar o tipo de solo segundo sua formação, mas é necessário realizar um conjunto de análises, incluindo também a verificação do relevo e da declividade em que os solos se encontram, posto que, segundo Marangon (2009), os residuais tendem a se localizar na parte elevada de uma encosta, enquanto que os sedimentares costumam se situar em pé de morro ou superfície plana.

Por fim, é importante mencionar que o processo de formação dos solos resulta em camadas com diferentes aspectos e composições, denominadas horizontes, e a classificação do perfil de solo segundo essas características é conhecida como classificação pedológica, a qual será tratada na seção seguinte.

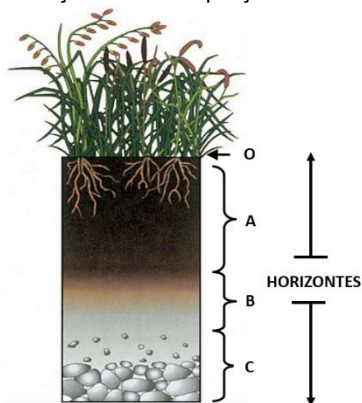
### 2.1.2 Classificação pedológica

O estudo das camadas superficiais da crosta terrestre se dá pelo ramo da ciência chamado Pedologia (ACHTENBERG, 2014). Segundo Santos (1997), a pedologia trabalha com dados significativos sobre composição, gênese, substrato, características físicas, morfológicas e ambientais dos solos. Nesse contexto, são analisados os perfis dos solos, desde a superfície da terra até o material subjacente inalterado, por serem organizados em uma sequência vertical de camadas aproximadamente paralelas à superfície, as quais dá-se o nome de horizontes.

De acordo com Ageitec (2016), os horizontes são definidos como uma seção do perfil do solo, demarcados de acordo com as variações morfológicas como as de cor, estrutura, textura, consistência, presença ou ausência de cascalho, nódulos e concreções, entre outras. Essas camadas estão sobrepostas em uma sequência visível, apesar de a transição entre elas nem sempre ser bem distinta (LEPSCH, 2013). Dessa forma, para análise e, posteriormente, classificação pedológica, é necessário dispor de um volume mínimo de horizontes que possibilite o estudo do solo. Nesse sentido, Azevedo *et al.* (2007) apresenta o *pedon* (do grego: solo, terra) como uma espécie de célula unitária ou a menor porção ou volume reconhecido como de um solo, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1 – Ilustração da menor porção de um solo (*pedon*)



Fonte: Adaptado de <http://webpages.fc.ul.pt/~maloucao/Aula%203.pdf>

Diante do exposto e tendo em vista que a classificação pedológica leva em consideração as características das camadas do solo, o Quadro 2 apresenta uma síntese das características dos horizontes.

Quadro 2 – Principais características dos horizontes do solo

Horizonte	Características
O	Composto de restos orgânicos, como detritos vegetais e substâncias húmicas acumuladas, ocorre sobre horizonte mineral e em condições de drenagem livre, sem estagnação de água.
H	Constituído predominantemente de material orgânico, resultante do acúmulo de resíduos vegetais depositados superficialmente, é formado sob condições de excesso de água, sendo denominado horizonte hístico.
A	Adjacente ao O ou H, é constituído, basicamente, de rocha alterada e húmus, tendo maior atividade biológica e aporte de matéria orgânica, que confere coloração escurecida, além de dispor de minerais.
E	Resultante de intenso processo de perda de argila, compostos de ferro e alumínio ou matéria orgânica, essa camada mineral possui textura mais arenosa e coloração mais clara do que os horizontes O, H e A.
B	Originado de acentuadas transformações do material de origem e/ou acúmulo de constituintes minerais oriundos dos horizontes acima, como argila e óxidos, possui propriedades pedogenéticas mais estáveis e coloração mais avermelhada.

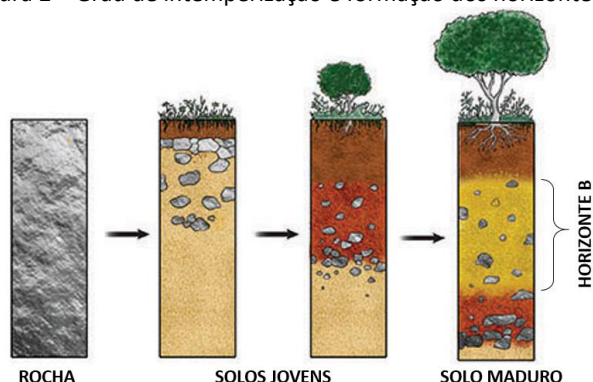
Horizonte	Características
C	Constituído de material inconsolidado, sob o horizonte A e B, é pouco afetado pelos processos pedogenéticos, dispondo de estrutura original da rocha matriz e, portanto, permanecendo com muitas características do material de origem (horizonte R).
R	Formado por material consolidado, refere-se à rocha matriz ou rocha inalterada que deu origem ao solo, constituindo um substrato rochoso praticamente contínuo.
Transicionais	Composto por propriedades de dois horizontes que se associam em fusão, não há diferenciação das partes, sendo sua designação dada pela junção das letras de ambos os horizontes.

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Achterberg (2014) esclarece que pode ocorrer a associação de dois horizontes principais, cujas características se fundem em proporções variadas, sendo então denominados de horizontes de transição. Nesse caso, a designação da camada é dada pela junção das letras de ambos os horizontes.

Vidal-Torrado, Lepsch e Castro (2005) afirmam que o grau de intemperização e de desenvolvimento dos horizontes pedogenéticos aumentam da superfície mais jovem para a mais antiga (Figura 2). Assim, solos maduros apresentam perfis constituídos pelos horizontes principais, apresentando-se relativamente homogêneos, enquanto que os solos jovens ou pouco desenvolvidos dispõem de um perfil incompleto, sem presença do horizonte B, e mantêm a estrutura original da rocha mãe.

Figura 2 – Grau de intemperização e formação dos horizontes



Fonte: Adaptado de <http://www.editoradobrasil.com.br>

Diante do exposto, com base nas propriedades dos horizontes do solo e tendo como referência classificações internacionais, aliadas a dados extraídos de levantamentos exploratórios e de reconhecimento realizados nos últimos 60 anos (LEPSCH, 2013), foi desenvolvido o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). A primeira versão oficial foi apresentada em 1999 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), sendo constantemente revisada e aprimorada, estando em sua terceira edição, publicada em 2013.

De acordo com a NBR 6502/1995: Rochas e solos, a classificação pedológica consiste na definição de classes de solos e suas subdivisões, segundo o grau de evolução do solo e desenvolvimento de seu perfil; o modo de alteração definido pela liberação de óxidos e presença de argilas; o tipo de distribuição da matéria orgânica e a presença de certos fenômenos de evolução. Para isso, o SiBCS apresenta os horizontes diagnósticos, os quais se diferenciam dos horizontes pedogenéticos (Quadro 2) pela caracterização de atributos do solo realizada por meio de análises de laboratório.

Lepsch (2013) destaca que os horizontes pedogenéticos podem ser identificados diretamente no campo, examinando-se a morfologia do solo, enquanto que os horizontes diagnósticos podem ser preditos in loco, mas para confirma-los com a certeza que a taxonomia de solos exige, é necessário, além da descrição morfológica, fazer as análises químicas, físicas e mineralógicas. Assim, segundo Embrapa (2013), os horizontes diagnósticos estão divididos da seguinte forma:

- Horizontes diagnósticos superficiais: hístico, A chernozêmico, A húmico, A proeminente, A antrópico, A fraco e A moderado.
- Horizontes diagnósticos subsuperficiais: albico, B textural, B latossólico, B incipiente, B nítico, B espódico e B plânico, plíntico, concrecionário, litoplíntico, glei, cálcico, petrocálcico, sulfúrico, vértico, fragipã e duripã.

Face às considerações, verifica-se que o número de horizontes e suas especificidades diagnósticas variam conforme o tipo de solo. Dessa forma, o SiBCS estabelece 13 classes de solos reconhecidas no nível categórico de hierarquia mais elevada, denominada de ordens (Quadro 3), as quais estão subdivididas em subordens, grupos e subgrupos. Ademais, Lepsch (2013) destaca que ainda não foram estabelecidas

famílias e séries, conforme diretrizes provisórias definidas no sistema de classificação.

Quadro 3 – Classificação pedológica e seus horizontes diagnósticos

<b>Ordem</b>	<b>Horizontes diagnósticos e outras características</b>	<b>Principais equivalências (sistemas anteriores)</b>
Argissolos	B textural e Tb*	Podzólicos (Vermelho-Amarelos e Vermelhos-Escuros)
Cambissolos	B incipiente, sem A chemozêmico (exceto se Tb*)	Cambissolos
Chernossolos	A chemozêmico e B incipiente, textural ou nítico (com argila Ta** e eutrófico)	Brunizems
Espodossolos	B espódico abaixo de horizonte A e E	Podzóis e Podzóis Hidromórficos
Gleissolos	Com horizonte glei dentro dos 50 cm da superfície	Gleis pouco Húmicos e Húmicos, Hidromórficos Cinzentos
Latossolos	B latossólico imediatamente abaixo do horizonte A	Latossolo
Luvissolos	B textural rico em cátions básicos trocáveis e Ta**	Brunos não Cálculos, Podzólicos eutróficos Ta
Neossolos	Sem horizonte B definido (solos jovens ou neoformados)	Utossolos, Regossolos, Solos Aluviais
Nitossolos	B nítico e Tb*	Terras Roxas e Terras Brunas Estruturadas
Organossolos	Com horizonte hístico de mais de 40 cm (exceto se sobre rocha)	Solos Orgânicos, Solos Turfosos (diversos)
Planossolos	B plânico abaixo de horizonte E e A	Planossolos, Solonetz-Solonizados
Plintossolos	Com horizonte plântico, petroplântico e/ou litoplântico	Lateritas Hidromórficas, Solos Concrecionários
Vertissolos	Horizonte vértico, com mais de 30% de argila no A e fendas de expansão	Vertissolos, Grumossolos

\*Tb = argila de baixa atividade | \*\*Ta = argila de alta atividade

Fonte: Embrapa (2013) *apud* Lepsch (2013).

Finalmente, destaca-se que os conhecimentos da pedologia se fazem necessários para o desenvolvimento de estudos geotécnicos, visto que possibilitam estimar o comportamento de solos por meio de seus horizontes. Aliado a isso, é importante conhecer as propriedades físicas dos solos, como sua granulometria e índices de consistência, os quais serão tratados na seção seguinte.

### 2.1.3 Caracterização textural dos solos

A identidade do solo é feita a partir das partículas que o constituem, sendo que a diversidade de tamanhos e combinações é imensa (GUSMÃO FILHO, 2008). Nesse sentido, Pinto (2006) relata que, para caracterizar um solo, deve-se partir do estudo das frações que o compõe e, para isso, são empregados dois tipos de ensaios, o de análise granulométrica e os de índices de consistência, também chamados de Limites de Atterberg.

Por meio do primeiro, os solos são classificados segundo as dimensões dos seus grãos e suas diferentes percentagens de ocorrência. Nesse sentido, Carvalho *et al.* (2015) explicam que os solos recebem designações segundo as dimensões das frações compreendidas entre determinados limites convencionais, podendo variar desde intervalos de micra até centímetros. Dessa forma, Achtenberg (2014) defende que, na prática, a análise granulométrica consiste de duas fases: peneiramento e sedimentação.

A NBR 7181/1988: Solo - análise granulométrica estabelece os procedimentos do ensaio. De forma resumida, a amostra de solo é inserida em uma série de peneiras padrão, em que o material retido é pesado. Assim, o percentual passante é representado graficamente em função da abertura de cada peneira, considerada como sendo o diâmetro equivalente das partículas. Posteriormente, os solos que apresentam granulometria inferior a 0,075 mm são tratados de forma diferenciada, por meio do ensaio de sedimentação. Segundo Pinto (2006), esse ensaio é baseado na Lei de Stokes, que relaciona o tamanho da partícula com a velocidade com que ela sedimenta em um meio líquido, ou seja, quanto maior a partícula, mais rapidamente ela irá se depositar.

Finalmente, por meio dos resultados da análise mencionada, é realizada a interpretação das escalas granulométricas padrão, de modo a classificar o solo segundo a dimensão de suas partículas. No Brasil, a

classificação do solo segundo sua granulometria é estabelecida pela NBR 6502/1995, conforme pode ser verificado no Quadro 4.

Quadro 4 – Classificação do solo segundo a granulometria

<b>Classificação do solo</b>	<b>Diâmetro das partículas</b>
Argila	< 0,002 mm
Silte	0,002 – 0,06 mm
Areia fina	0,06 – 0,20 mm
Areia média	0,20 – 0,60 mm
Areia grossa	0,60 – 2,0 mm
Pedregulho fino	2,0 – 6,0 mm
Pedregulho fino	6,0 – 20 mm
Pedregulho fino	20 – 60 mm
Pedra de mão	60 – 200 mm
Matacão	200 mm – 1m

Fonte: NBR 6502/1995.

De acordo com Azevedo *et al.* (2007), a granulometria é uma das propriedades mais estáveis do solo, sendo afetada, primeiramente, pelo tipo de material de origem e grau de intemperismo. Além disso, os autores destacam que o solo normalmente é composto pelas frações granulométricas areia, silte e argila, e raramente por apenas uma delas.

Nogami e Vilibor (1995) afirmam que os principais minerais componentes dos solos grossos (areia e pedregulho) são os dos grupos Silicatos (quartzo, feldspato e mica), bem como Óxidos e hidróxidos (ilmenita, magnetita e laterita). Já os principais minerais que constituem a fração silte pertencem aos grupos Silicatos (quartzo e mica), Óxidos e hidróxidos (magnetita, laterita e ilmenita) e Argilo-minerais (macrocrístais de caolinita). Por fim, a porção argila é composta por constituintes orgânicos e minerais dos grupos Argilo-minerais (caolinita, montmorilonita, illita, haloisita e alofana) e Óxidos e hidróxidos (goethita, limonita, ferrihidrita, gibsitita, bauxita, hematita e magnetita).

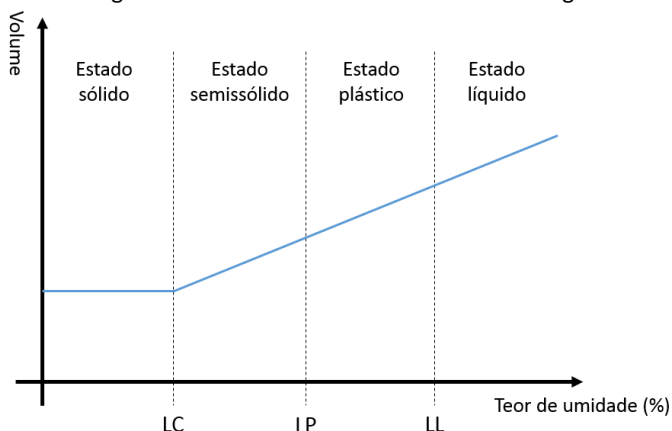
Haja vista a classificação granulométrica, solos argilosos podem apresentar-se na forma líquida, plástica, semissólida ou sólida, dependendo do seu teor de umidade, enquanto que solos arenosos podem variar seu estado de fofo a compacto (CARVALHO *et al.*, 2015).

Esses estados físicos do solo chamam-se, respectivamente, consistência e compactidade.

Achterberg (2014) defende que, sob o ponto de vista da engenharia, não é somente através da distribuição granulométrica que se pode caracterizar o comportamento de um solo. O autor informa que a fração fina tem grande importância no comportamento porque, quanto menor a partícula, maior a superfície específica. Nesse sentido, é importante mencionar que devido ao fato de as partículas do solo possuírem superfícies específicas variadas, seu comportamento perante a água é bastante diferenciado. Pinto (2006) relata que, para uma porcentagem de fração de argila, o solo pode ter comportamento muito diferente, dependendo das características dos minerais presentes.

Dessa forma, por ser complexo o estudo dos minerais existentes na argila, na prática, é realizada uma análise indireta para identificar e verificar a influência das partículas argilosas, empregando-se os ensaios propostos por Atterberg, que determina os limites do estado físico. Com base na influência que o teor de umidade exerce no comportamento das argilas, ou seja, apresenta-se em estado líquido quando em ambiente úmido e quebradiça em locais secos, é verificado para solo o Limite de Contração (LC), correspondente à transição entre os estados sólido e semissólido, em que não há variação de volume; o Limite de Plasticidade (LP), entre os estados semissólido e plástico, e o Limite de Liquidez (LL), entre os estados plástico e líquido (Figura 3).

Figura 3 – Limites de consistência de Atterberg



Fonte: Adaptado de Sbroglia (2015).

A partir desses limites, calcula-se o Índice de Plasticidade (IP), resultante da diferença entre o LL e o LP, indicando a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico (PINTO, 2006). No Brasil, a NBR 6459/2016 estabelece o procedimento para determinação do limite de liquidez dos solos, enquanto que a NBR 7180/2016 especifica o método para a determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos.

De acordo com Caputo (2005), o IP define a zona em que o solo se encontra em estado plástico, sendo máximo para as argilas e nulo para as areias. Assim, o índice fornece um critério que sugere o caráter argiloso de um solo, sendo, portanto, importante na classificação de solos granulares finos. Nesse sentido, Burmister (1949) *apud* Das (2014) classificou os solos qualitativamente em função de sua consistência, como apresenta o Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação do solo segundo seu índice de plasticidade

<b>Classificação do solo</b>	<b>IP</b>
Sem plasticidade	0
Plasticidade leve	$1 < IP < 5$
Plasticidade baixa	$5 < IP < 10$
Plasticidade média	$10 < IP < 20$
Plasticidade alta	$20 < IP < 40$
Plasticidade muito alta	$> 40$

Fonte: Burmister (1949) *apud* Das (2014).

Observados os tipos de classificação e os principais parâmetros de caracterização dos solos, Gusmão Filho (2008) defende que as areias e as argilas são solos bastante definidos para o engenheiro, haja vista os critérios estabelecidos para suas identificações. Nesse sentido, ao iniciar qualquer obra civil, é imprescindível o reconhecimento do solo, a fim de subsidiar tecnicamente a elaboração de projetos. Dessa forma, a seção seguinte aborda a investigação geotécnica, discorrendo sobre o ensaio mais utilizado no Brasil e as correlações existentes às demais características do solo.



## 2.2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Para o desenvolvimento de projetos de engenharia é de fundamental importância o reconhecimento prévio do perfil do solo e de suas características geotécnicas. Segundo Marinho (2005), projetar conhecendo-se os aspectos geológico-geotécnicos é a melhor forma de se fazer engenharia. A NBR 6122/2010: Projeto e execução de fundações cita a investigação geotécnica como indispensáveis ao reconhecimento do subsolo para fins de projeto e execução de fundações. Dessa forma, para não colocar em risco a qualidade da obra, além de prever custos associados ao projeto e sua solução, a investigação geotécnica é primordial e seus resultados constituem em documentos de projeto.

De acordo com Schnaid (2000),

A experiência internacional faz referência frequente ao fato de que o conhecimento geotécnico e o controle de execução são mais importantes para satisfazer aos requisitos fundamentais de um projeto do que a precisão dos modelos de cálculo e os coeficientes de segurança adotados.

A ausência ou interpretações errôneas da investigação geotécnica pode incorrer em projetos inadequados, atrasos em contratos, aumento de custos, patologias estruturais e problemas ambientais. Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) ressaltam que aspectos relacionados à investigação das características do subsolo são as causas mais frequentes de problemas de fundações. Becker (2001) defende que as incertezas inerentes ao conhecimento do subsolo podem prejudicar substancialmente o projeto e o meio ambiente.

Diversos outros autores fazem referência aos riscos decorrentes da falta, insuficiência ou inadequada investigação geotécnica, destacando-se US Army of Engineers (2001) e Weltman e Head (1983), que discorrem, respectivamente, de práticas americana e inglesa, as quais alertam quanto a erros de projeto, atrasos no cronograma, custos associados a alterações construtivas, além de colapso da estrutura.

Frente aos inconvenientes que a carência de investigação geotécnica pode acarretar, Schnaid (2000) reforça que, no Brasil, o custo envolvido na realização de sondagens de reconhecimento varia, normalmente, entre 0,2% e 0,5% do custo total de obras convencionais.

Nesse sentido, Caraméz e Higashi (2011) afirmam que os custos envolvidos com estudos geotécnicos adequados são sempre inferiores aos necessários para recuperar problemas posteriores à execução. Coutinho e Severo (2009) ponderam que o grau de incerteza sobre a área a ser analisada, usualmente, está relacionado ao custo da investigação.

Diante do exposto, reconhecida a importância de determinar as características geológico-geotécnicas do subsolo, salienta-se que existem diversos ensaios de campo que podem ser realizados. Os ensaios de uso corrente na prática brasileira, de acordo com Schnaid (2000) são: *Dilatometer Test* (DMT), *Standard Penetration Test* (SPT), *Piezcone Penetration Test* (CPTU), Ensaio Pressiométrico tipo Ménard (MPM) e *Vane Test* (VNT), conhecido como ensaio de palheta.

A interpretação e a análise dos resultados desses ensaios, visando a elaboração de projetos geotécnicos, pode ser realizada segundo métodos diretos e indiretos. Estes, utilizam os resultados dos ensaios na previsão de parâmetros construtivos que representam o comportamento do solo, enquanto aqueles têm fundamentação estatística – de natureza empírica ou semiempírica – a partir da qual as medidas de ensaios são correlacionadas diretamente a outras variáveis de interesse geotécnico.

Nesse contexto, Schnaid (2000) destaca que, no Brasil, os resultados de SPT constituem-se no mais conhecido exemplo de uso em métodos diretos de previsão, sendo utilizados em procedimentos rotineiros de projeto de fundações diretas e profundas. Aliado a isso, e tendo em vista que o presente trabalho faz uso de sondagens SPT para elaboração do banco de dados geológico-geotécnico, as seções seguintes tratam de normatização e metodologia para fins de investigação geológico-geotécnico do subsolo, bem como de parâmetros e correlações do solo relacionados com os resultados desse tipo de ensaio.

### 2.2.1 Sondagem a percussão

A sondagem a percussão – também chamada de sondagem de simples reconhecimento ou, ainda, sondagem SPT – da abreviação do termo inglês *Standard Penetration Test* – é executada com a finalidade de se obter amostras pouco deformadas e valores quantitativos de

resistência dos solos, por meio de ensaios expeditos padronizados (SOUZA, SILVA e IYOMASA, 1998).

A simplicidade na execução e o baixo custo associados a esse tipo de investigação são os principais atrativos para sua ampla utilização. De acordo com Schnaid (2000), o SPT é a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo. Teixeira (2003) corrobora afirmando que, em muitos países, mas particularmente no Brasil, a grande maioria dos projetos, na área geotécnica, são executados com base nos ensaios SPT.

Tendo em vista que o ensaio SPT consiste no experimento mais utilizado internacionalmente para a realização de sondagens geotécnicas, Câmara e Pereira (2007) salientam que o adequado conhecimento das potencialidades dessa investigação de campo representa fator importante dentro do processo de concepção e projeto das obras em geral. Nesse sentido, Fonteles (2003) destaca que há fatores envolvidos na execução da sondagem que podem influenciar em seus resultados, os quais são de duas ordens: material, representado pelos equipamentos; e humana, relacionado pelas ações empreendidas pelos operadores.

Schnaid (2000) discorre que, apesar de existirem críticas feitas à diversidade de procedimentos utilizados para a execução do ensaio e à pouca racionalidade de alguns dos métodos de uso e interpretação, esse é o processo dominante ainda utilizado na prática de Engenharia de Fundações. Dessa forma, as incertezas inerentes ao processo de sondagem podem ser mitigadas por meio da adoção de procedimentos padronizados prescritos em norma, os quais serão destacados na seção seguinte.

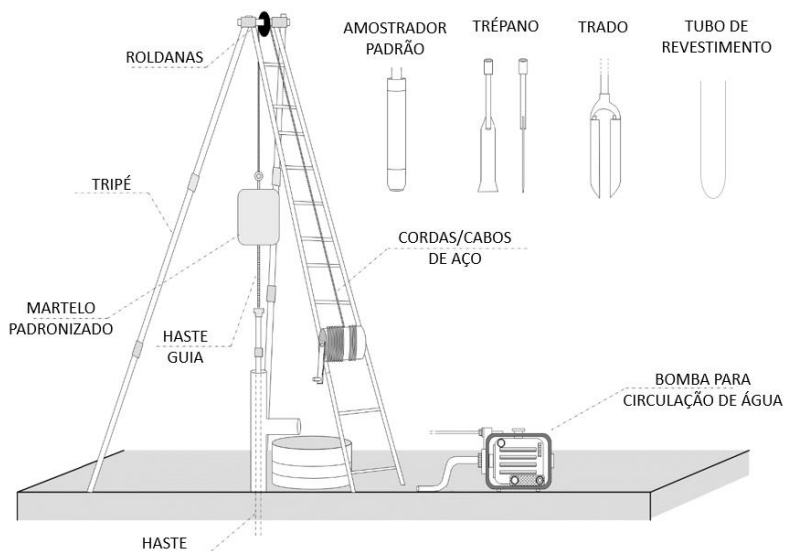
## 2.2.2 Normatização e execução do ensaio

A primeira normalização para o ensaio SPT surgiu em 1958 pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), denominada D 1586-58T, no entanto, o documento passou por algumas modificações e, segundo Folle (2002), a D 1586-67T, de 1967, passou a ser a norma norte-americana definitiva. Por ser pioneira, a norma dos Estados Unidos é utilizada com frequência por países da América do Sul (SOARES, 2011), assim como por outros países do mundo, por exemplo, a Itália (FOLLE, 2002). Em contrapartida, o Brasil – do mesmo modo que outros países, como o Canadá, o Japão e a Austrália – dispõe de

normatização própria, a qual, conforme Belincanta e Ferraz (2000) diferencia-se da norte-americana, principalmente, pelo processo de perfuração, tipos de hastes, cabeça de bater, martelo e seu acionamento, bem como pela frequência de golpes.

Diante do exposto, para que se tenha resultados confiáveis para análises geotécnicas nacionais é necessário que o ensaio siga a padronização da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), apresentada na NBR 6484/2001: Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Segundo esta norma, a sondagem é realizada com o auxílio de um tripé, provido de roldanas e cordas ou cabos de aço, hastes, trado para perfuração do solo, trépano de lavagem, bomba d'água, martelo padronizado (65 kg) e amostrador padrão do tipo Terzaghi-Peck (Figura 4).

Figura 4 – Equipamentos utilizados no ensaio SPT



Fonte: Adaptado de Higashi (2016).

De posse dos equipamentos supracitados, inicialmente, em cada ponto de sondagem – definido previamente por especialista, conforme especificidades do terreno e tipo de obra – monta-se um tripé, com altura em torno de 5 m, coleta-se uma amostra a zero metro e realiza-se a escavação com trado até alcançar o primeiro metro. Em

seguida, na base do furo, apoia-se o amostrador padrão acoplado à haste de perfuração e marca-se nela um segmento de 45 cm dividido em trechos de 15 cm. Na sequência, ergue-se o martelo, por meio do sistema de cordas/cabos de aço e roldanas, e deixa-o cair sobre a haste em queda livre de uma altura de 75 cm. Tal procedimento se repete até que o amostrador padrão penetre 45 cm do solo, sendo registrados o números de golpes (queda do martelo) necessários para cravar cada um dos três trechos de 15 cm do metro analisado. Assim, o índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ) para essa profundidade é representado pela soma do número de golpes para a penetração dos últimos 30 cm.

Para alcançar o próximo metro, intercaladas às operações de amostragem, utiliza-se novamente o trado para a escavação. Contudo, a norma adverte que, ao atingir o nível d'água (momento este em que se deve anotar sua profundidade) ou caso o avanço seja inferior a 5 cm após 10 minutos de operação, deve-se adotar o método de perfuração por circulação de água (lavagem), utilizando-se o trépano como ferramenta de escavação, com bomba d'água motorizada para retirada do material, sendo, a partir de então, obrigatório o uso de tubo de revestimento. Dessa forma, a cada metro, amostras de solo vão sendo coletadas e valores de  $N_{SPT}$  são obtidos até o limite de sondagem, especificado pela NBR 6484/2001 conforme três situações:

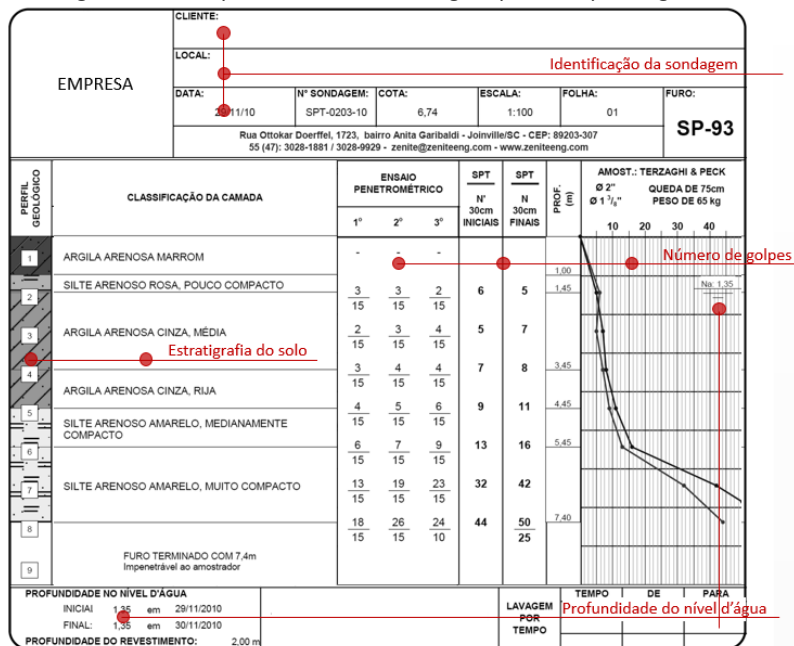
- Em qualquer dos três trechos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
- Um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a cravação;
- Não se observar avanço do amostrador padrão durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.

Diante dos critérios de paralisação expostos, anota-se a profundidade em que o furo alcançou o chamado “impenetrável a percussão”. Em contrapartida, Fonteles (2003) adverte que o limite de impenetrabilidade é condicionado pelo tipo de solução de elemento estrutural de fundação a ser utilizado, dentre outras restrições. Assim, cabe ao responsável técnico pelo estudo das fundações definir o parâmetro técnico limitador da sondagem como, por exemplo, o alcance de um valor de  $N_{SPT}$  ao longo da perfuração considerado adequado a obra a ser executada. Todavia, é imprescindível que esteja claro no boletim de sondagem o motivo da paralisação do ensaio.

Quaresma *et al.* (1998) destaca que, além dos dados clássicos coletados no ensaio SPT, deve-se anotar outras informações úteis que forem observadas.

Ao encerrar a sondagem SPT, decorridas no mínimo 12 horas e estando o furo não obstruído, deve ser medida a posição do nível d'água, bem como a profundidade até onde o furo permanece aberto. Posteriormente, o solo existente em cada furo de sondagem é caracterizado por meio de análises das amostras extraídas em campo, as quais recebem classificação quanto a granulometria, cor, consistência ou compacidade, assim como outras informações tidas como relevantes. Por fim, todos os dados coletados são apresentados em um perfil do subsolo investigado e documentados em laudo de sondagem, conforme exemplificado na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de laudo de sondagem para um ponto genérico



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

No relatório final de sondagem, além dos boletins com os perfis individuais de cada furo, deve-se apresentar uma planta com a posição

dos pontos de sondagens (Figura 6), fundamental para a determinação do local exato em que o ensaio foi realizado.

Figura 6 – Exemplo de planta de locação dos furos de sondagem



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

Destaca-se que, face às modificações que podem ocorrer em edificações existentes, que normalmente são referências para a identificação dos furos de sondagem, é de suma importância dispor da coordenada de cada ponto, tanto em planta, quanto, principalmente, no laudo de sondagem.

Com relação à quantidade de furos a serem investigados, a NBR 8036/1983: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios determina o número mínimo de sondagens a serem executadas de acordo com a área de projeção da edificação:

- Para edifícios com área de projeção em planta até 1.200 m<sup>2</sup>, deve-se fazer uma sondagem para cada 200 m<sup>2</sup>.

- Para edifícios com área de projeção em planta de 1.200 m<sup>2</sup> até 2.400 m<sup>2</sup>, deve-se fazer uma sondagem para cada 400m<sup>2</sup> que excederem 1.200 m<sup>2</sup>.
- Para edifícios com área de projeção acima de 2.400 m<sup>2</sup>, o número de sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção.

Ainda, a norma estabelece que, em quaisquer circunstâncias, deve-se respeitar as seguintes premissas:

- Duas sondagens para área da projeção em planta de até 200 m<sup>2</sup>;
- Três sondagens para área de projeção em planta entre 200 m<sup>2</sup> e 400 m<sup>2</sup>.

Por fim, corroborada a simplicidade na execução aliada ao custo relativamente baixo da sondagem SPT (LIMA, 1979), já explanados anteriormente, frente às demais técnicas de investigação geotécnica, uma das vantagens desse ensaio, segundo Schnaid (2000), é a obtenção de um valor numérico que pode ser relacionado por meio de proposta não sofisticadas, mas diretas, com regras empíricas de projeto.

Nesse sentido, conforme destacado por Lima (1997), Lollo (1999), Culshaw e Northmore (2002) *apud* Soares (2011), o campo de mapeamento com caracterização geológico-geotécnica e estimativas de comportamento a partir de informações obtidas em sondagens de simples reconhecimento vem crescendo ultimamente. Dessa forma, a seção seguinte aborda alguns parâmetros e correlações que utilizam dados SPT, especialmente os que embasaram a realização do estudo proposto nesta dissertação.

### 2.2.3 Parâmetros e correlações

Conforme supracitado, os resultados do ensaio SPT são muito utilizados em correlações empíricas e semiempíricas, características de métodos diretos, para estimar parâmetros geotécnicos, como características do solo, tensões admissíveis e capacidade de carga. Em virtude da vasta utilização de sondagens a percussão, muitas correlações envolvendo o  $N_{SPT}$  podem ser encontradas em bibliografias e normas.

Diversos autores sugerem correlações a partir do  $N_{SPT}$ , como Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Skempton (1986),



Décourt (1989), Teixeira (1996), Teixeira e Godoy (1996) e Milititsky e Schnaid (1995). Sobre essa conjuntura, Berberian (2012) reforça que existe literatura disponível para, praticamente, todas as correlações possíveis do ensaio SPT, destacando-se: resistências de ponta e lateral, módulo de elasticidade, coesão, ângulo de atrito, densidades, índice de compressão, coeficiente de recalque, de adensamento e de empuxo, razão de sobreadensamento, coeficiente de permeabilidade, entre outras.

Ainda mais, a NBR 6484/2001 apresenta, em seu anexo, uma tabela que relaciona o  $N_{SPT}$  à compacidade dos solos grossos (areia e silte arenoso) e à consistência dos solos finos (argila e silte argiloso), conforme expõe o Quadro 6.

Quadro 6 – Compacidade e consistência em função do  $N_{SPT}$

Solo	$N_{SPT}$	Designação
Areia e Silte arenoso	$\leq 4$	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco fofa(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	$> 40$	Muito compacta (o)
Argila e Silte argiloso	$\leq 2$	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	$> 19$	Dura(o)

Fonte: NBR 6484/2001.

Face ao objetivo deste trabalho em elaborar cartas de aptidão para fundações, é importante mencionar algumas correlações existentes nesse âmbito. Dessa forma, com relação a fundações superficiais, para determinação da tensão admissível do solo utilizando-se de dados SPT, Hachich *et al.* (1998) apresentam um método semiempírico para o cálculo da tensão admissível, conforme apresentado na Equação (1), válida para qualquer solo natural no intervalo  $5 \leq N_{SPT} \leq 20$ .

$$\sigma_a = 0,02 \cdot N_{SPT} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Outra correlação que não faz distinção entre os tipos de solo, mas que, segundo Mello (1975) *apud* CINTRA; AOKI; ALBIERO (2011), é utilizada na prática profissional para o cálculo de tensão admissível de fundações rasas é exposta na Equação (2), válida para qualquer solo natural no intervalo  $4 \leq N_{SPT} \leq 16$ .

$$\sigma_a = 0,1 \cdot (\sqrt{N_{SPT}} - 1) \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Segundo Cintra, Aoki e Albiero (2003), no meio técnico brasileiro, já é bastante utilizada a Equação (1), desenvolvida por Skempton, em 1951, e, posteriormente, corroborada por Teixeira, em 1996, para solos argilosos. Assim, observa-se que Teixeira (1996) demonstrou fórmulas para a estimativa da tensão admissível em fundações superficiais por sapatas em função do índice de resistência à penetração, no entanto, adotando equações diferentes para solos argilosos e arenosos, conforme equações (3) e (4), respectivamente.

$$\sigma_a = \frac{N_{SPT}}{50} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

$$\sigma_a = 0,05 + (1 + 0,4B) \cdot \frac{N_{SPT}}{100} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Em que:

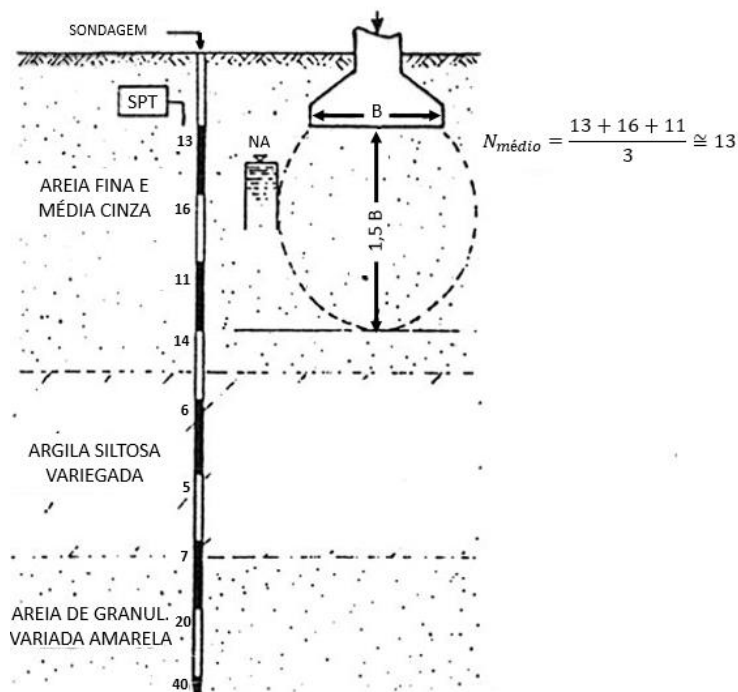
B = base da sapata.

Acerca da Equação (3), Cintra, Aoki e Albiero (2011) destacam que essa fórmula foi explicada para a condição de sapatas retangulares apoiada na superfície de terrenos puramente argilosos, tomando como base o método de Skempton (1951) para o cálculo da capacidade de carga. Com relação à Equação (4), Soares (2011) reforça que foi proveniente da fórmula clássica de Terzaghi para capacidade de carga, considerando sapatas quadradas (B em metros), apoiadas a 1,5 metros de profundidade em areia de peso específico de  $18 \text{ kN/m}^3$ .

Com relação às correlações que permitem a obtenção da tensão admissível diretamente de ensaios de campo, a NBR 6122/2010 salienta que devem ser observadas com atenção a validade dos campos de

aplicação dos métodos, as dispersões dos dados e as restrições regionais. Ademais, é importante destacar, que nas equações para fundações superficiais explanadas anteriormente, o valor de  $N_{SPT}$  considerado refere-se ao índice de resistência médio no bulbo de tensões, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Estimativa do  $N_{SPT}$  médio no bulbo de tensões



Fonte: Adaptado de Hachich *et al.* (1998).

A profundidade do bulbo de tensões da sapata, segundo Hachich *et al.* (1998), equivale a aproximadamente  $1,5B$ . Simons e Menzies (1981 *apud* CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2003) evidencia a existência de cálculos mais precisos utilizando conceitos existentes na teoria da elasticidade para mecânica dos solos. Contudo, para efeitos práticos, considera-se os valores apresentados no Quadro 7, em que  $B$  representa a base e  $L$  o comprimento da sapata.

Quadro 7 – Geometria da sapata e profundidade do bulbo de tensões

Geometria base da sapata	Profundidade do bulbo de tensões
Sapata circular ou quadrada ( $L = B$ )	2B
Sapata retangular ( $2B \leq L \leq 4B$ )	3B
Sapata corrida ( $L \leq 5B$ )	4B

Em que B é a base e L o comprimento da sapata

Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2011).

Com relação à escolha do tipo de fundação, para efeito prático, Rebello (2011) apresenta considerações técnicas e econômicas para subsidiar a tomada de decisão quanto à opção por fundação superficial ou profunda. Nesse sentido, os critérios expostos pelo autor segundo o qual é adequado o uso de fundação direta são, simultaneamente:

- $N_{SPT} \geq 8$
- $H \leq 2$  metros

Sendo H a profundidade máxima de assentamento da sapata.

O primeiro limite indica a resistência mínima necessária para o uso de fundações superficiais e o segundo se deve aos custos com escavação e reaterro, em que a execução de fundação direta torna-se antieconômica. Ainda conforme Rebello (2011), quando os parâmetros do solo e do projeto analisados estiverem fora desses limitantes, deve-se adotar fundação profunda.

Assim, para fundações profundas, Cintra e Aoki (2010) listam valores limites de  $N_{SPT}$  para paradas (cotas de apoio) de diversos tipos de estaca (Quadro 8).

Quadro 8 – Valores limites de  $N_{SPT}$  para cotas de apoio de estacas

Tipo de estaca		Limite de $N_{SPT}$ para execução
Pré-moldada de concreto	$\Phi < 30$ cm	$15 < N_{SPT} < 25$
		$\Sigma N_{SPT} = 80$
	$\Phi \geq 30$ cm	$25 < N_{SPT} \leq 35$
Perfil metálico		$25 < N_{SPT} \leq 55$
Tubada (oca, ponta fechada)		$20 < N_{SPT} \leq 40$
Strauss		$10 < N_{SPT} \leq 25$

Tipo de estaca		Limite de $N_{SPT}$ para execução
Franki	em solos arenosos	$8 < N_{SPT} \leq 15$
	em solos argilosos	$20 < N_{SPT} \leq 40$
Estação e diafragma, com lama bentonítica		$30 < N_{SPT} \leq 80$
Hélice contínua		$20 < N_{SPT} \leq 45$
Ômega		$20 < N_{SPT} \leq 40$
Raiz		$N_{SPT} \geq 60$ (penetra na rocha sã)

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tendo em vista a diversidade de aplicação para os resultados das sondagens SPT disponibilizada na literatura, é notório o crescente uso desses dados na geração de novas informações. Nesse sentido, verifica-se que pesquisas recentes, sobretudo a nível internacional, buscam associar dados SPT a características dos solos, dada uma região de estudo. Dessa forma, a seção seguinte traz um levantamento de estudos desenvolvidos nesse contexto.

#### 2.2.4 Aplicações de dados SPT em estudos recentes

Atualmente, há registros de estudos que visam a representar as superfícies dos solos por meio de parâmetros obtidos de ensaios do tipo SPT em países como Estados Unidos, Austrália, Tailândia, Índia, Turquia, Iraque, Irã, Malásia, além do Brasil. Al-Jabban (2013) desenvolveu um trabalho de caracterização do solo, utilizando 110 sondagens SPT na cidade de Hilla, no Iraque, sendo apresentados como resultados indicativos de tendência da resistência do solo em função do  $N_{SPT}$ , além de uma equação empírica para representar a região.

Cartas de aptidão para fundação rasa segundo tensão admissível do solo e valores de  $N_{SPT}$  foram desenvolvidas por Rajesh, Sankaragururaman e Das (2003) para o sul de Chennai, na Índia. Para essa mesma área de estudo, utilizando-se de mais de 20.000 furos de sondagem SPT, Sakunthala Devi e Stalin (2011) elaboraram cartas de isovalores de nível de água e  $N_{SPT}$ , além de ângulo interno de atrito e capacidade de suporte do solo. Do mesmo modo, Stalin e Arun Murugan (2015) fizeram uso de resultados de sondagens SPT para gerar cartas de isovalores do nível de água e do  $N_{SPT}$  da referida região, além de cartas de capacidade de carga em diferentes profundidades.

Para a localidade de Surfers Paradise, na Austrália, Al-Ani *et al.* (2014) elaboraram uma carta de isovalores de  $N_{SPT}$ , a partir de 35 laudos de sondagem. De forma semelhante, Humyra *et al.* (2012) desenvolveram uma carta de isovalores de  $N_{SPT}$ , por meio de 73 pontos de sondagens, com a finalidade de auxiliar na elaboração de projetos de fundações de pequeno porte e baixo custo na cidade de Rajshahi, em Bangladesh. Já Sharma, Rahman e Saikia (2013) fizeram cartas de isovalores de  $N_{SPT}$  e profundidade do lençol freático para a cidade de Guwahati, na Índia, elaboradas a partir de uma base de dados com 200 furos SPT.

No Brasil, Soares (2011) elaborou, para a cidade de João Pessoa (PB), cartas de impenetrável à percussão, tensão admissível, isovalores de  $N_{SPT}$ , aptidão para fundações (tubulão e estacas), além de uma análise temporal da superfície freática, de forma a refletir a sazonalidade de períodos chuvoso e seca. Leite (2015) propôs a estruturação de um banco de dados georreferenciado de informações e a elaboração de uma carta geotécnica para fundações, a partir de 220 sondagens SPT, para a cidade de Porto Alegre/RS.

Ainda em âmbito nacional, Pimentel (2015) desenvolveu uma carta preliminar de fundações de uma parte da região centro-norte da cidade de Fortaleza (CE), utilizando-se de 395 furos de sondagens à percussão. Dessa forma, foram desenvolvidas cartas de isovalores de  $N_{SPT}$  para três diferentes profundidades e nível do lençol freático. Além disso, por meio de métodos empíricos e semiempíricos disponíveis na literatura, o autor apresenta um indicativo de tipo de fundação (superficial ou profunda), profundidade de assentamento, tensão admissível, assim como de tipo, diâmetro e comprimento de estaca.

Ao analisar bibliografias relacionadas a correlações envolvendo dados SPT, observam-se também diversos estudos que utilizam o  $N_{SPT}$  para estimar a velocidade de propagação da onda de cisalhamento ( $V_s$ ), fundamental, em termos de engenharia, para prever o comportamento dos solos sob a influência de abalos sísmicos. Tais pesquisas são realizadas, especialmente, em países nos quais terremotos se fazem presentes, como em Yenişehi, na Turquia, cujo estudo, desenvolvido por Mhaske e Choudhury (2007), faz uso de correlações entre  $N_{SPT}$  e  $V_s$ . De tal modo, aplicações semelhantes foram realizadas por Anbazhagan e Sitharam (2008) em Bangalore, na Índia; Mhaske e Choudhury (2011) em Mumbai, na Índia; Shahri, Rajablou e Ghaderi (2012) em Hamedan, no

Irã; Sharma, Rahman e Saikia (2013) e Sharma e Rahman (2016) em Guwahati, também na Índia.

Diante do exposto, verifica-se que estudos relacionando dados de sondagens são mundialmente realizados, devido ao fato de fazerem uso de informações disponíveis (haja vista a obrigatoriedade de realizar investigações geotécnicas), e viabilizarem resultados interessantes em termos prático e acadêmico. Segundo Almeida e Albrecht (2002), um fato que fomenta o crescimento desses trabalhos é a existência de inúmeras sondagens já executadas em área urbanas, tornando-se um grande acervo de informações sobre as características do subsolo de diversas cidades, desde que sejam disponibilizadas pelas empresas executoras ou pelos responsáveis.

Vale destacar que o método de trabalho parcial da presente dissertação, desenvolvido para a elaboração de cartas de fundação baseados em dados de sondagens SPT, foi previamente publicado por Santos, Thiesen e Higashi (2015) no *15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, na Argentina. Ademais, no *International Conference on Geotechnical Engineering*, ocorrido no Sri Lanka, Thiesen, Santos e Higashi (2015) apresentaram resultados preliminares do método, na forma de cartas, para a área urbana do município de Blumenau (SC).

Finalmente, destaca-se que, tendo em vista a importância do banco de dados na elaboração de cartas geotécnicas, a seção seguinte discorre sobre os Sistemas de Informações Geográficas e sua importância na associação e processamento de dados georreferenciados, de forma a possibilitar às análises propostas neste estudo.

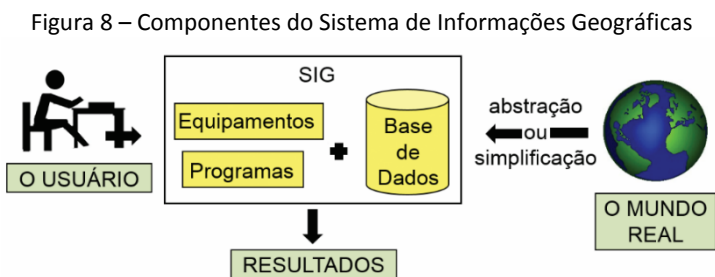
## 2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE ESPACIAL

Considera-se Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento e recuperação de dados espaciais do mundo real (BURROUGH, 1986). Assim, os sistemas que dispõem dessas funcionalidades apresentam como principal característica a possibilidade de realizar análises espaciais envolvendo dados georreferenciados. Nesse sentido, Fortes (1998) destaca que, para todas as definições de SIG existentes na literatura, fica evidente que a ênfase no tratamento e no processamento

do dado geográfico é o que o diferencia de outros sistemas computacionais.

Ao analisar os SIG sob uma conjuntura mais ampla, Paredes (1994) relata que esses sistemas são compostos pelo usuário, que os opera e realiza consultas; pelo equipamento, que possibilita a entrada, o processamento e a saída de dados; pelos programas, que permitem a execução de funcionalidades; pela base de dados, que alimenta o sistema; e pelo mundo real, do qual, por operações de abstração e simplificação, são extraídos os dados.

A Figura 8 ilustra as inter-relações envolvendo o SIG, conforme mencionado por Paredes (1994).



Fonte: Adaptado de Paredes (1994).

Os componentes se relacionam entre si para reproduzir um modelo computacional das entidades do mundo real, por meio da operacionalização do sistema realizada pela interface usuário-máquina, em que é efetuada a entrada e o processamento de dados. Segundo Yabiku (2015), os SIG interpretam dados tratados em diversos formatos, como tabelas, *shapefiles*, *kml*, *kmz*, dentre outros. Nesse sentido, o sistema os organiza e armazena em um banco de dados geográficos, em que os atributos descritivos (variável alfanumérica) são associados às feições geométricas (variável espacial).

Borges (2004) relata que, com relação à variável espacial ou cartográfica, existem duas formas de representá-la: o formato vetorial (vetor) e o matricial (*raster*). A estrutura do formato vetorial é composta pelas feições espaciais básicas, ou seja, ponto, linha e polígono, conhecidas como primitivas gráficas. Por outro lado, do formato matricial, Soares (2011) afirma que os dados são representados em uma



matriz de células, em que cada uma delas é denominada de pixel<sup>1</sup>, o qual possui um valor que indica o nível de cinza, podendo variar de 0 a 255 tons, no caso de 8 bits, considerando 0 a cor preta e 255 a branca. Burrough e McDonnell (1998) defendem que a representação das informações como vetores ou *raster* depende de como os dados foram recolhidos e da forma como eles serão utilizados.

Em contrapartida, a variável alfanumérica possui aspectos descritivos e, portanto, não-gráficos, que são tratados e manipulados pelos Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) convencionais. Dessa forma, a potencialidade de um SIG está na sua capacidade de realizar operações de análise espacial envolvendo atributos de forma conjunta e, nesse sentido, o sistema é incomparável aos métodos manuais de elaboração de mapas e representação de superfícies do meio físico.

Por isso, nos últimos anos, os SIGs vêm sendo empregados com maior intensidade no apoio à tomada de decisões, pois proporcionam aos profissionais os meios necessários para melhorar a eficiência dos trabalhos que envolvem informações contidas em mapas digitais. Coelho, Alves e Oliveira (2007) afirmam que o geoprocessamento está cada dia mais difundido no meio técnico-científico por sua aplicabilidade, pois possibilita simular, testar e avaliar exemplos ou modelos preestabelecidos, que servem de suporte à tomada de decisões

Teixeira (2003) verifica que o trabalho de zoneamento do espaço físico em cartografia geotécnica é uma tarefa adequada para a utilização de SIG, posto que a implementação de uma estrutura de banco de dados é importante no gerenciamento das informações. Nesse sentido, Barros (1996) afirma que o uso amplo e bem organizado de um banco de dados geotécnicos, além de auxiliar o mapeamento sobre os principais componentes do meio físico, permite também preparar documentos geotécnicos específicos.

De modo a elaborar cartas que representem características geotécnicas dada uma área de estudo, utilizam-se de técnicas de interpolação para análise espacial, disponíveis nos SIGs, para distribuir no espaço os dados disponíveis apenas para alguns pontos da região analisada. Essas técnicas, conforme Caruso e Quarta (1998), permitem

---

<sup>1</sup> Pixel, aglutinação de *Picture e Element*, ou seja, elemento de imagem, o qual é considerado como o menor elemento em um dispositivo de exibição em que é possível atribuir-se uma cor (THIESEN, 2016).

abranjer grandes regiões com agilidade e precisão e tratam-se de procedimentos matemáticos de determinação de valores para pontos não amostrados, por meio do ajuste de uma função a valores amostrados, provenientes de pontos observados.

Tendo em vista que a modelagem dos fenômenos naturais pode ser realizada por modelos estocásticos (probabilísticos) e determinísticos, serão abordados nas seções seguintes interpoladores determinísticos, como a triangulação e o inverso ponderado da distância, bem como estocásticos, representados pela krigagem.

### 2.3.1 Triangulação com interpolação linear

Com a finalidade de formar uma malha triangular irregular e, por isso, conhecido pela sigla TIN (do inglês *Triangular Irregular Network*), o modelo de triangulação interliga os pontos amostrados através de linhas, perfazendo, respectivamente, os vértices e as arestas dos triângulos. Segundo Namikawa *et al.* (2003), considerando-se um comportamento linear dentro de cada triângulo pode-se estimar o valor de qualquer ponto da superfície definida pela malha triangular.

Assim, o valor de qualquer ponto dentro do triângulo de interesse pode ser determinado pelos atributos e pelas coordenadas dos vértices, utilizando-se de uma álgebra simples para solução de sistemas de equações lineares ou de uma interpolação linear tripla. Nesse sentido, Landim (2000) destaca que a triangulação é considerada um método de estimação direto, pois os contornos derivam do padrão original dos dados. Contudo, o mesmo autor relata que a técnica não permite extrapolação e, portanto, as estimativas limitam-se estritamente à área amostrada.

Para a geração de superfícies TIN, Longley *et al.* (2005) discorrem sobre a aplicação da Triangulação Delaunay, que, de acordo com Fazan e Poz (2011), é o algoritmo usualmente empregado para a modelagem. Tal processo matemático fornece um conjunto de triângulos topologicamente organizados pelo critério da maximização dos ângulos internos de cada triângulo. Dessa forma, são inseridos círculos passantes por três pontos da amostra de modo que os triângulos formados não dispõem, em seu interior, de nenhum vértice de outro polígono.

### 2.3.2 Inverso ponderado da distância

Segundo Naoum e Tzanis (2004), a técnica de interpolação denominada inverso ponderado da distância, do inglês *Inverse Distance Weighting* (IDW), realiza estimativas para pontos não amostrados com base em valores de pontos observados próximos, ponderados apenas pela distância. O IDW é o mais utilizado dentre os métodos de distância ponderada e a influência de um ponto amostrado em relação a outro reduz conforme aumenta a distância ao nó da malha a ser estimado (LANDIM, 2000). Nesse sentido, quanto mais próximo um ponto observado está do nó a ser determinado, maior será seu peso e, portanto, maior será sua influência.

Assim, o peso atribuído pelo modelo às variáveis amostradas consiste em dividir o inverso de suas respectivas distâncias ao ponto de referência pelo somatório dos inversos das distâncias do conjunto analisado. Ademais, é importante mencionar que ainda pode ser atribuída uma potência para as distâncias, de modo a atribuir pesos diferentes para a estimativa do valor, ou seja, quanto maior for o valor dessa potência maior será a influência do vizinho mais próximo na estimativa.

Conforme Silva, Quintas e Centeno (2007), os valores de potência mais usuais variam sua magnitude entre um e três. Em seus estudos, Reis *et al.* (2005), por exemplo, aplicaram o método variando a potência em 2, 3, 4 e 5, concluindo que o IDW com potência 2 é mais preciso do que as demais potências analisadas. Nesse contexto, a técnica de interpolação em questão é frequentemente chamada de inverso do quadrado da distância.

### 2.3.3 Krigagem

Longley *et al.* (2005) afirmam que, entre os métodos comuns de interpolação espacial, a krigagem aparenta ser a mais fundamentada em boas práticas teóricas. Sendo uma aplicação dos procedimentos geoestatísticos (INPE, 2004), o método procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais do fenômeno espacial (HUIJBREGTS, 1975). Dessa forma, é determinada uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e a direção no espaço amostrado.

Soares (2011) relata que os métodos geoestatísticos levam em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas, enquanto os métodos determinísticos não consideram esse aspecto, pois utilizam apenas os valores envolvidos nos processos. Nesse sentido, Fonteles (2003) reforça que as variáveis regionalizadas, ao contrário das variáveis aleatórias, têm condicionantes espaciais que caracterizam o fenômeno natural estudado.

Contudo, Landin (2000) afirma que:

Nas variáveis regionalizadas deve existir uma certa continuidade espacial, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido.

Assim, para verificar a existência de continuidade espacial e identificar os parâmetros que caracterizam o comportamento regionalizado deve-se realizar uma análise variográfica. Landin e Sturaro (2002) explicam que a krigagem pode ser entendida como um processo de estimação por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto consideradas como interdependentes por uma função denominada variograma.

O variograma é uma função que mede a semelhança entre amostras vizinhas, mostrando o grau de dependência espacial entre amostras, ou seja, a distância máxima na qual os valores ainda apresentam correlação. De acordo com Dias (2013), a referida função caracteriza a variabilidade do padrão espacial e temporal de um determinado fenômeno, sendo que o variograma experimental ou variograma das amostras  $\gamma(h)$  é calculado a partir da diferença média quadrada entre pares de dados que pertencem a uma certa classe de distância, conforme expressa a Equação (5).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

Em que:

$\gamma(h)$  = variância experimental

$Z(x_i)$  = valor da variável medida na posição  $x_i$

$Z(x_i+h)$  = valor da variável medida na posição  $x_i+h$

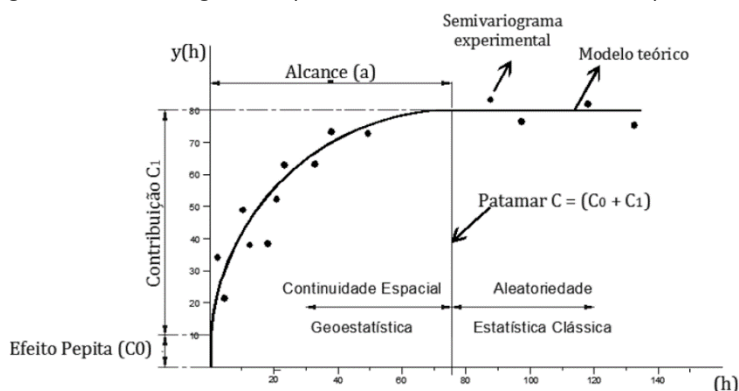
$h$  = distância que separa duas amostras (m)

$i$  = posição das amostras

$n$  = número de pares de dados para a distância de separação ( $h$ )

Assim, devido ao fato de que o somatório das diferenças ao quadrado é dividido por duas vezes o número de pares analisados, para Landim e Sturaro (2002) o termo mais adequado seria semivariograma, no entanto, é comum o uso do termo variograma por ser mais sintético. Ademais, é importante destacar que o semivariograma experimental deve ser adequado a um modelo teórico, cujos parâmetros de ajustes são apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Semivariograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros



Fonte: Adaptado de Landim e Sturaro (2002) *apud* Dias (2013).

Em termos teóricos, a variância cresce com o incremento de distância, até atingir um valor constante, que corresponde às variações aleatórias. Assim, segundo Silva *et al.* (2008), para o ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de  $\gamma(h)$  são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, que são o efeito pepita ( $C_0$ ), o patamar ( $C_0 + C_1$ ) e o alcance ( $a$ ).

A partir das informações do variograma, a krigagem atribui pesos ótimos às amostras com valores conhecidos para estimativa dos valores para os pontos desconhecidos, fazendo uso de técnicas de regressão. Tais técnicas, conforme Silva *et al.* (2008), procura minimizar a variância estimada considerando a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço. Ainda, Vilela (2004) enfatiza que o método

também fornece o erro associado à tal estimação, o que o distingue dos demais algoritmos de interpolação.

Druck *et al.* (2004) informam que a krigagem engloba um conjunto de métodos de estimação, incluindo procedimentos estacionários (krigagem simples e ordinária), não estacionários (krigagem universal, funções intrínsecas de ordem  $k$ ), univariados e multivariados (co-krigagem). Entretanto, destacam a frequente utilização da krigagem ordinária pela sua grande importância na modelagem de fenômenos naturais. Segundo Teixeira *et al.* (2011), a krigagem ordinária é calculada mediante a soma das amostras adjacentes, em que o peso de cada amostra é determinado através da correlação de dados estruturais com o objetivo de reduzir a estimativa da variância.

Diante do exposto e tendo em vista que a krigagem ordinária é geralmente associada como o melhor estimador linear não tendencioso – do inglês *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE) –, isto é, considerada linear devido às suas estimativas serem combinações lineares de dados amostrados, não-viciada pela busca do valor de erro ou resíduo médio igual a 0, e melhor por minimizar a variância dos erros (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989 *apud* JAKOB, 2002), é ampla a utilização deste método em estudos geotécnicos. Yamamoto e Landim (2013) afirmam que a krigagem ordinária é o método mais utilizado pela praticidade e pelos resultados que proporciona. Além do mais, ao analisar um elevado número de trabalhos relacionados a análises de parâmetros do solo, tal método de estimação é tido por muitos como mais aderente ao conjunto de dados.

#### 2.3.4 Comparações entre métodos

De acordo com Alessi (2011), todos os métodos apresentam uma estimativa da realidade com a presença de incertezas e, nesse sentido, para a geração de modelos considera-se o método que resulte em menores erros. Segundo Camargo (1997), a diferença básica entre os métodos tradicionais de interpolação espacial e a geoestatística é que, resumidamente, os primeiros requerem valores das amostras independentes espacialmente, enquanto que a geoestatística requer valores das amostras correlacionadas no espaço. Por essa característica, a geoestatística tem alcançado grandes aplicações em disciplinas ligadas

a geociências para efetuar estimativas e/ou simulações de variáveis em locais não amostrados (ALVES, 2009).

Diante do exposto, Landim (2000) afirma que a utilização da krigagem é reconhecida como sendo uma das melhores estimativas, além de ser um método muito aplicado ao mapeamento de solos. Assim, em função de o solo apresentar uma variabilidade espacial em várias de suas características, como geometria das camadas, propriedades físicas e geomecânicas (REINERT, 2011), técnicas de investigação da variabilidade espacial dos atributos do solo, como a krigagem, podem contribuir para a compreensão dessas disparidades. No estudo geoestatístico realizado por Kulhawy e Phoon (2002), por exemplo, as incertezas embutidas nos resultados SPT indicaram coeficiente de variação<sup>2</sup> entre 25% e 50%. Wilding e Dress (1983) reforçam que a geoestatística é a melhor ferramenta a ser recomendada para estudos de variabilidade espacial.

Assim, destacados os três métodos de interpolação comumente utilizados em análises envolvendo dados geotécnicos e contemplados nos SIGs, a escolha da técnica, segundo Talamini Neto (2001), irá depender de fatores como a quantidade e a densidade de pontos a serem interpolados, a capacidade de processamento do computador utilizado, o nível de precisão almejado, bem como a disponibilidade de tempo.

Nesse sentido, Krajewski e Gibbs (1966) *apud* Alves (2009) apresentam uma comparação entre os métodos de interpolação, segundo os principais parâmetros de escolha. O Quadro 9 mostra o comparativo entre os métodos expostos neste trabalho.

Quadro 9 – Comparação entre métodos de interpolação

Método de interpolação	Fidelidade aos dados originais	Suavidade das curvas	Velocidade de computação	Precisão geral
Triangulação	1	3	1	3
Inverso da distância	3	2	2	2
Krigagem	2	1	3	1

Em que, 1 = melhor.

Fonte: Adaptado de Krajewski e Gibbs (1966) *apud* Alves (2009).

<sup>2</sup> O coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa que descreve, em percentuais relativos à média, a variabilidade dos dados.

É importante mencionar que o método de krigagem fornece estimativas teoricamente ótimas, com ausência de tendências e mínima variância (WANG e LIU, 2005), além de ser o único a fornecer os erros associados às estimativas (JAKOB e YOUNG, 2006). Ainda, verifica-se que, embora o método de krigagem tenha sido desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, mais precisamente com relação a estimativas de reservas de minério, seu uso expandiu-se com sucesso no mapeamento de solos, mapeamento hidrológico, mapeamento atmosférico e outros campos correlatos.

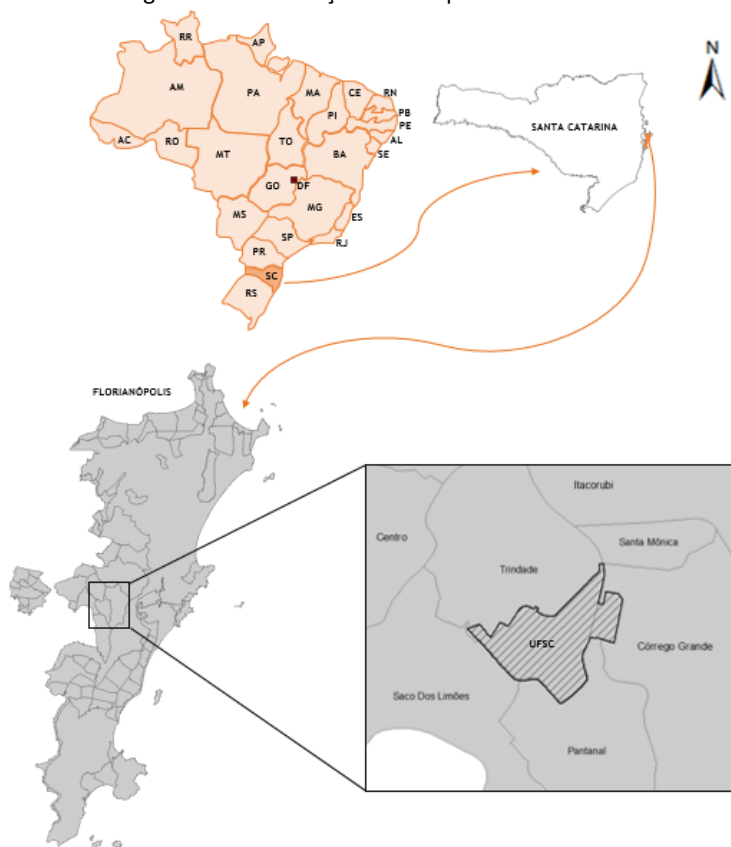


### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Campus Reitor João David Ferreira Lima é a sede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desde a sua fundação em 1960, abrigando os principais setores e órgãos administrativos centrais. O referido Campus localiza-se no centro da Ilha de Santa Catarina – que faz parte do município de Florianópolis (SC) – e é envolto pelos bairros Trindade, Carvoeira, Pantanal e Córrego Grande, perfazendo uma área de, aproximadamente, 1 km<sup>2</sup>.

A Figura 10 mostra a localização da área de estudo em Florianópolis e sua inserção no território nacional.

Figura 10 – Localização do Campus sede da UFSC



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

O município de Florianópolis, situado na Região Sul do Brasil, entre as Latitudes 27°22`S e 27°50`S e Longitudes 48°25`O e 48°35`O no estado de Santa Catarina, possui uma área total em torno de 424 km<sup>2</sup> e população de 421.240 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Ainda de acordo com o IBGE, em 2015, o município teve um crescimento estimado em cerca de 10%, atingindo 469.690 habitantes. Almeida e Rodrigues (2003) explicam que, de um modo geral, a parte insular do município forma um grande maciço costeiro que se alonga numa dorsal central, acompanhando a costa continental, com dimensões aproximadas de 54 km de comprimento por 18 km de largura.

### 3.1 FATORES CLIMÁTICOS

O litoral catarinense, incluindo Florianópolis, situa-se em uma região de clima subtropical mesotérmico úmido, equivalente ao Cfa na classificação de Köppen, com verões quentes e invernos amenos. Conforme Caruso (1983), Monteiro (1991) e Mendonça (2002) *apud* Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF, 2010), a temperatura média anual é de 20,4°C, com registros mais quentes no mês de janeiro (24,5°C em média) e mais baixos em julho (em torno de 16,5°C).

Dias e Herrmann (2002) afirmam que, apesar de a precipitação ser bem distribuída ao longo do ano, com valores médios de 1.500 mm/ano, apresenta certa concentração de chuvas no verão, quando a precipitação máxima diária pode atingir valores excepcionais. Relacionado ao ritmo das chuvas, Freyesleben (1979) *apud* PMF (2009) explica que, em geral, são frontais, pré-frontais e pós-frontais, resultante do encontro da Massa Polar Atlântica (MPA), responsável pelos ventos Sul e Sudeste, com a Massa Tropical Atlântica (MTA), responsável pelos ventos Norte e Nordeste.

### 3.2 GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA E PEDOLOGIA

O município de Florianópolis é formado de duas unidades geomorfológicas, denominadas Serras do Leste Catarinense e Planícies Costeiras. A primeira, segundo IPUF (1991) *apud* Andrade (2003), é constituída por uma sequência de elevações dispostas de forma subparalela, orientada predominantemente no sentido NE-SW. Além

disso, as elevações apresentam-se gradativamente mais baixas em direção ao mar, onde, frequentemente, terminam em costões e pontais rochosos, que serviram de ponto de apoio à sedimentação que atingiu o litoral durante o quaternário. Assim, conforme Herrmann (1989), na planície sedimentar verifica-se a atuação de processos erosivos e deposicionais, em que os rios, os mangues, as praias e as lagoas constituem a Unidade Geomorfológica Planície Costeira.

Acerca da geologia, a Ilha de Santa Catarina é formada pelo embasamento cristalino e pelos depósitos quaternários de planície costeira (CARUSO JR. e AWDZIEJ, 1993 e LIVI e HORN FILHO, 2010 *apud* SILVA E HORN FILHO, 2011). Nesse sentido, Santos (1997) detalha a existência, no município, de um conjunto de rochas cristalinas, granitóides e vulcanitos associadas, cortadas localmente por diques de diabásio, sobrepostos por coberturas sedimentares recentes, relativas aos eventos Terciários/Quaternários.

Diante do exposto, em termos de pedologia, verifica-se que as encostas são recobertas por solos Podzólicos Vermelho-Amarelos e Cambissolos argilosos, originários dos granitos Ilha e Itacorubi, e por solos Podzólicos Vermelho-Escuros, provenientes de diques de diabásio (DIAS E HERRMANN, 2002). Por outro lado, os mesmos autores relatam que as áreas de planície são recobertas por solos Glei e solos indiscriminados de Mangue, sendo que, na interface planície-baixa encosta, há acumulações colúvio-eluviais.

### 3.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Davison Dias (1995) define unidade geotécnica como uma região formada por perfis de solos que possuem comportamento geotécnico similar frente ao uso e a ocupação do solo. Dessa forma, para o município de Florianópolis, Santos (1997) elaborou um mapa geotécnico, representando as Unidades Geotécnicas que o compõem. Assim, com base no mapeamento realizado, observou-se que a área de estudo é compreendida por duas Unidades Geotécnicas: Cambissolo depósitos de encostas (Cde) e Glei sedimentos quaternários (Gsq).

Com relação à primeira unidade, Santos (1997) explica que, além dos Cambissolos, também há a inclusão dos Plintossolos com substrato depósitos de encosta (Pde). Por meio de seus estudos, a autora observa que os Cde podem apresentar textura franco arenosa ou mais fina,

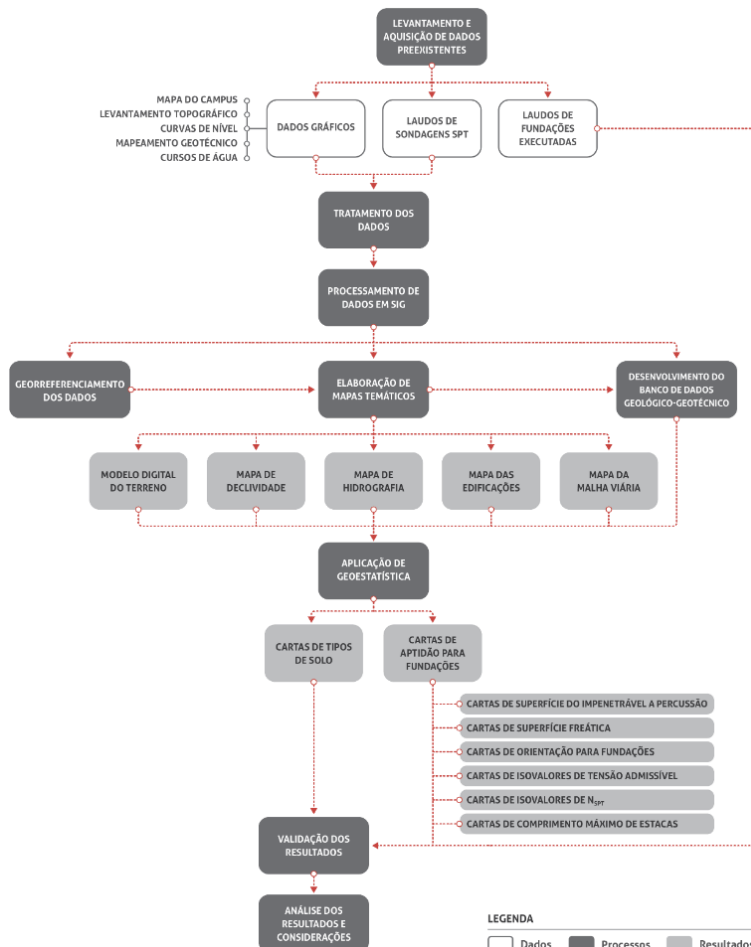
sendo que o teor de argila é pequeno e não varia com a profundidade. Os Pde podem ser ricos ou pobres em matéria orgânica na seção superficial, assim como apresentar mudança textural abrupta e argila de atividade baixa.

Com relação à unidade Gsq, verifica-se que ela abrange a maior parte do Campus sede da UFSC (cerca de 75%) e reúne os solos Glei, Areias Quartzosas Hidromórficas e Solo Orgânico. Assim, o comportamento dessa unidade geotécnica, segundo Santos (1997), será distinto conforme a ocorrência em região de Glei ou de Areia Quartzosa. A autora informa que a argila de atividade alta dos solos Glei aponta propriedades de expansão e contração em função da variação de umidade e suas consequências nas obras de engenharia são sempre indesejáveis.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta o método utilizado para análise do perfil geológico-geotécnico do Campus sede da UFSC, por meio de laudos de sondagens à percussão e dados gráficos, como cartas contendo as características geotécnicas e de relevo, manipulados em ambiente SIG. Para tanto, foram desenvolvidas as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma do método de trabalho



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

#### 4.1 LEVANTAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS PREEXISTENTES

Os dados utilizados para realização do estudo foram obtidos junto à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão rural de Santa Catarina (Epagri), ao IBGE, à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável (SDS), assim como a setores da própria Universidade – Departamento de Obras e Manutenção Predial (DOMP), Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DEPAE) e Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO).

As informações utilizadas, vinculadas ao órgão responsável pelo fornecimento, estão dispostas no Quadro 10.

Quadro 10 – Dados adquiridos e respectivas fontes

DOMP	DEPAE	LAMGEO	SDS	Epagri e IBGE
Mapa oficial do Campus   Formato vetorial	Laudos de sondagem   75 grupos, 507 furos	Mapeamento geotécnico de Florianópolis   Escala 1:50.000	Curvas de nível da Bacia do Itacorubi   Escala 1:10.000	Cursos de água   Escala 1:50.000
Laudos de execução de fundações   24 obras	Levantamento topográfico   Formato vetorial			

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Dentre os dados levantados, o mapa oficial do Campus, disponibilizado em DWG, e os laudos de sondagem, fornecidos em diversos formatos (PDF, DWG, XLS) necessitaram passar por dispendiosos tratamentos, de forma a se obter, respectivamente, *shapefiles* da infraestrutura do Campus e base de dados geotécnica, fundamentais para confecção das cartas que viabilizam as análises propostas nesse estudo.

## 4.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Conforme explanado anteriormente, antes do processamento dos dados em ambiente SIG, fez-se necessários tratamentos, sobretudo, nos dados gráficos e nos laudos de sondagem, os quais serão detalhados na sequência.

### 4.2.1 Dados gráficos

Dentre os dados gráficos coletados, para integração com o ambiente SIG, necessitou-se realizar edições no mapa do Campus, de forma a integrar o arquivo DWG/DGN à estruturação topológica dos elementos pontos, linhas e polígonos interpretados pelo *software* SIG. Dessa forma, os dados relacionados às edificações, à infraestrutura viária, à hidrografia e, especialmente, à delimitação oficial do Campus, foram tratados na forma digital usando o *software* AutoCAD®.

Nesse sentido, destaca-se que, como o CAD é uma ferramenta de edição bastante difundida, a maioria dos dados encontrados para carregar em ambientes SIG está em sua extensão. Assim, é importante discorrer brevemente a respeito do complexo diálogo entre as duas ferramentas, visto que muitas inconsistências são provenientes do desconhecimento, por parte dos desenhistas, das especificidades cartográficas que um SIG requer.

Nos *softwares* CAD criam-se elementos gráficos com o objetivo principal de se obter uma ilustração, em que a estrutura do desenho é constituída, simultaneamente, por geometrias e simbologias. Por outro lado, no ambiente SIG, as feições geométricas são associadas a atributos e organizadas por tipo de elemento, como ponto, linha e polígono, os quais não se congregam na estruturação de uma mesma camada ou *layer*.

Essa função organizativa do SIG incorre na formatação do arquivo DWG, de modo a deixar cada composição nele contida e que se deseja representar (edificações, hidrografia, por exemplo) no mesmo formato geométrico, para que seja interpretada corretamente pelo SIG. Para isso, as principais edições realizadas no arquivo CAD seguiram a rotina de tratamento de mapas publicada por Santos, Thiesen e Higashi (2015), destacando-se as seguintes:

- Efetuou-se o georreferenciamento dos elementos gráficos a partir de coordenadas conhecidas;
- Deu-se continuidade a linhas interrompidas;
- Redefiniu-se como polígonos elementos que estavam representados como linhas;
- Efetuou-se o fechamento de polígonos; e
- Eliminaram-se elementos duplicados.

Além disso, em alguns casos, não é possível recolher atributos do CAD juntamente com as geometrias, posto que essas informações foram inseridas somente à posteriori, de forma manual, na tabela de atributos do ambiente SIG.

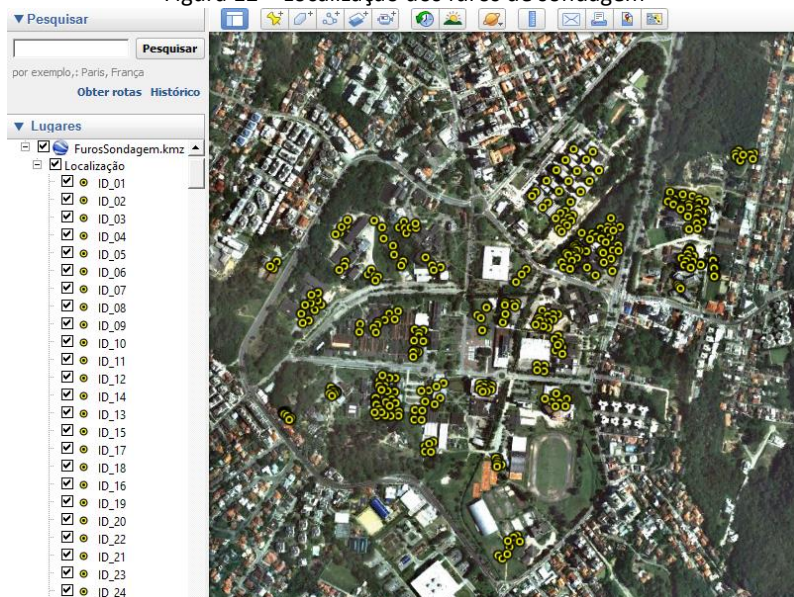
#### 4.2.2 Laudos de sondagens SPT

De posse dos laudos de sondagens, necessitou-se, inicialmente, organizá-los de forma a identificar a totalidade recebida e a disponibilidade das informações necessárias (croqui devido dos furos e laudos de cada ponto). Nesse contexto, dos furos analisados na triagem inicial, muitos não apresentavam a localização de maneira adequada ou possuíam o croqui sem conter os respectivos boletins de sondagem, impossibilitando sua utilização no trabalho.

Na sequência, foi realizado um trabalho de localização dos furos sobre imagem aérea, uma vez que a maioria dos laudos recebidos não apresentavam coordenadas provenientes do processo de georreferenciamento. Dessa forma, um a um, cada furo foi sendo localizado seguindo o croqui das sondagens proveniente dos laudos e fazendo-se uso da ferramenta Google Earth (Figura 12).



Figura 12 – Localização dos furos de sondagem



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

Após a localização dos furos e, consequentemente, observadas a distribuição das sondagens, realizou-se uma triagem para eliminar boletins de sondagens situados fora da área de estudo. Assim, do montante de material adquirido, a amostragem utilizada na pesquisa alcançou 369 perfis de furos distribuídos em 1,086 km<sup>2</sup>, que representa quantidade considerável de dados quando comparada a trabalhos com caráter semelhante. Nesse contexto, posteriormente, será discorrido à respeito da distribuição dos dados utilizados no desenvolvimento das cartas e, consequentemente, da confiabilidade dos resultados, por meio de uma análise de recobrimento e espaçamento dos dados.

Cabe salientar que, a tarefa de separar as sondagens por localização se mostrou extremamente vasta e laboriosa, principalmente pela necessidade de reorganizar o acervo obtido por códigos referentes ao número do relatório de cada perfil, de modo a evitar repetição de perfis ao contabilizar o total de boletins.

Posteriormente, as informações contidas nos laudos de sondagem foram digitalizadas manualmente em planilhas eletrônicas, de forma a compor o banco de dados geotécnicos. Nesse sentido, foram

inseridas informações acerca da empresa e da data em que a sondagem foi realizada, dos tipos de solo, em cada metro, segundo sua granulometria predominante, das profundidades de impenetrável e nível d'água, dos  $N_{SPT}$  dos 30 cm finais de cada metro, e observações gerais, como o relato dos golpes finais, quando estes não alcançavam a profundidade estipulada em norma para obtenção do  $N_{SPT}$ .

A Figura 13 apresenta a etapa de preparação da planilha eletrônica para compor o banco de dados.

Figura 13 – Digitalização das informações dos laudos de sondagem

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Name	Z	Empresa	Data	$h_{imp}$	$h_{NA}$	1m_Prof	2m_Prof	27m_Prof	Observações	
315	ID_314	7,6	A	24/11/2010	23,38	0,86	5	4	0	No metro 23, os 50 golpes cravaram 23 centímetros dos 30 finais	
316	ID_315	7,56	A	23/11/2010	24,29	0,6	7	3	0	No metro 23, os 30 golpes cravaram 23 centímetros dos 30 finais e no	
317	ID_316	7,76	A	23/11/2010	23,39	1,10	5	2	0	No metro 23, os 50 golpes cravaram 24 centímetros dos 30 finais	
318	ID_317		B	10/01/1978	5,50	1,50	17	29	0		
319	ID_318		B	10/01/1978	6,50	1,80	11	16	0		
320	ID_319		B	09/01/1978	4,80	0,80	7	7	0		
321	ID_320		B	06/01/1978	4,7	1,2	7	11	0		
322	ID_321		B	09/01/1978	4,60	1,70	9	12	0		
323	ID_322		B	06/01/1978	5,90	1,30	5	9	0		
324	ID_323		B	09/01/1978	1,00	0,00	0	0	0	Retirar, pois deve ter pego um matacão.	
325	ID_324		B	09/01/1978	0,60	0,00	0	0	0	Retirar, pois deve ter pego um matacão.	
326	ID_325		B	09/01/1978	0,8	0	0	0	0	Retirar, pois deve ter pego um matacão.	
327	ID_326		B	04/01/1978	8,40	0,90	2	9	0		
328	ID_327		B	04/01/1978	11,50	0,60	2	11	0		
329	ID_328		B	05/01/1978	10,80	1,00	3	0	0		
330	ID_329	9,72	A	07/11/2010	15,39	2,07	10	11	0	No metro 15, os 50 golpes cravaram 24 centímetros dos 30 finais	
331	ID_330	9,45	A	08/11/2010	16,13	1,7	9	8	0	No metro 16, os 50 golpes cravaram apenas os 13 centímetros iniciais	
332	ID_331	9,02	A	09/11/2010	18,41	1,70	13	8	0	No metro 18, os 50 golpes cravaram 26 centímetros finais	
333	ID_332	8,4	A	10/11/2010	17,32	1,30	8	7	0	No metro 17, os 50 golpes cravaram 17 centímetros finais	
334	ID_333	8,46	A	10/11/2010	15,35	1,36	7	7	0	No metro 15, os 50 golpes cravaram 20 centímetros finais	

Fonte: Elaborada pela autora (2016).

Destaca-se que a estruturação da planilha eletrônica, sendo a base do banco de dados geológico-geotécnico, teve como premissa dispor os campos referentes às informações dos boletins de forma a possibilitar a execução das interpolações posteriores. Nesse sentido, a fim de que todos os furos de sondagem fossem considerados nas análises de cada profundidade, optou-se por inserir o valor de  $N_{SPT}$  igual a 50 para as camadas sob o impenetrável.

Por fim, tendo em vista que dados confiáveis são fundamentais para uso na elaboração de um banco de dados geológico-geotécnico, os laudos foram analisados de modo a identificar discrepâncias em suas informações, sobretudo, relacionadas a profundidades de impenetrável e nível d'água, as quais são abordadas nas seções seguintes.

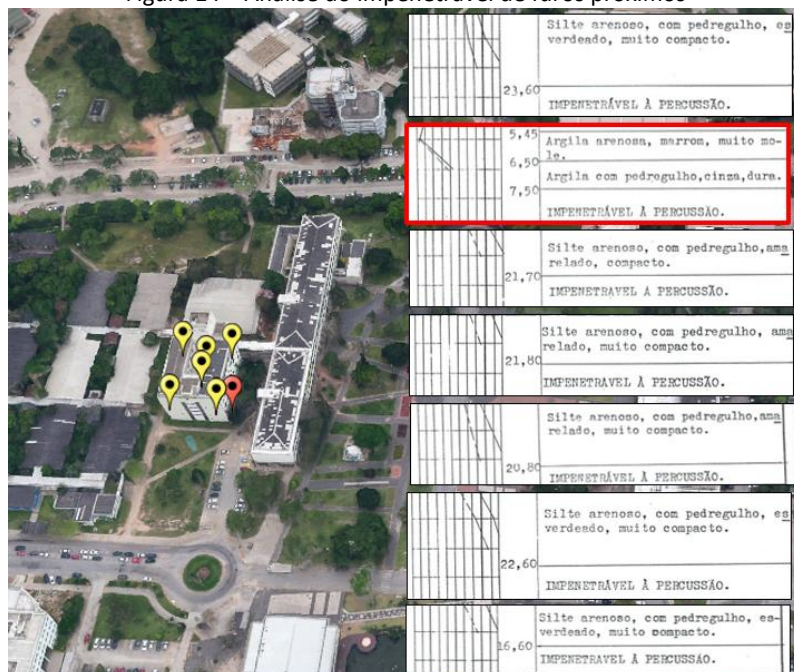
#### *4.2.2.1 Análise dos dados de impenetrável*

Conforme destacado na seção 2.2.2, a NBR 6484/2001 estabelece critérios de paralização da sondagem SPT, segundo a qual tem-se o impenetrável a percussão. Contudo, verificou-se que algumas profundidades assinaladas nos laudos, como medida do impenetrável, divergiam-se bastante dos furos vizinhos.

Assim, para alguns pontos, verificou-se que a sondagem foi paralisada, possivelmente, em virtude de a haste se deparar com um matacão, embora tenha seguido aos critérios de paradas estabelecidos em norma. Tal fato foi deduzido em função de os demais laudos do mesmo grupo apresentarem comportamento diferente, resultando em profundidades maiores de impenetrável.

Em certos casos, percebeu-se que a crível sensibilidade do operador perante a discrepância pode tê-lo induzido a deslocar os equipamentos e realizar a sondagem imediatamente ao lado do furo com impenetrável divergente, deparando-se então com uma profundidade realmente maior do que havia indicado a sondagem do furo incerto (Figura 14).

Figura 14 – Análise do impenetrável de furos próximos



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

Ao fazer a análise do impenetrável dos 369 laudos, provenientes da triagem inicial, foram retirados 38 furos, evitando que a posterior interpolação dos dados seja prejudicada por eventual falha no processo de execução da sondagem. Dessa forma, a análise do impenetrável contou com 327 laudos, os quais também foram utilizados para análises relacionadas ao  $N_{SPT}$  e caracterização dos solos.

#### 4.2.2.2 Análise dos dados de nível d'água

Para análise do nível d'água (NA), foram excluídos do estudo os furos cujos laudos indicavam ausência de água (furo seco), informavam não haver atingido o lençol freático ou ainda que não continham a informação devido ao arquivo ter sido reproduzido em meio digital (escaneado) de forma a eliminar parte da página cujo registo de NA estava inserido.

Dessa forma, devido ao fato de grande parte dos furos dispor da informação de nível d'água e tendo em vista a boa distribuição dos dados mesmo após o filtro realizado, não houve a necessidade de realizar tratamento adicional para estimar valores de NA para os furos descartados, os quais somam 78 dos 369 avaliados.

Todavia, como análise complementar, foram inseridos 13 pontos ao longo do Rio Sertão – rio perene que corta o Campus no sentido Norte-Sul –, a fim de verificar o aprimoramento da interpolação com a inclusão desses dados adicionais. Os valores de profundidade do NA para esses pontos acrescentados foram estimados com base em laudos de sondagens próximos (Figura 15), observada também a altimetria dos pontos e sua inserção no contexto geomorfológico.

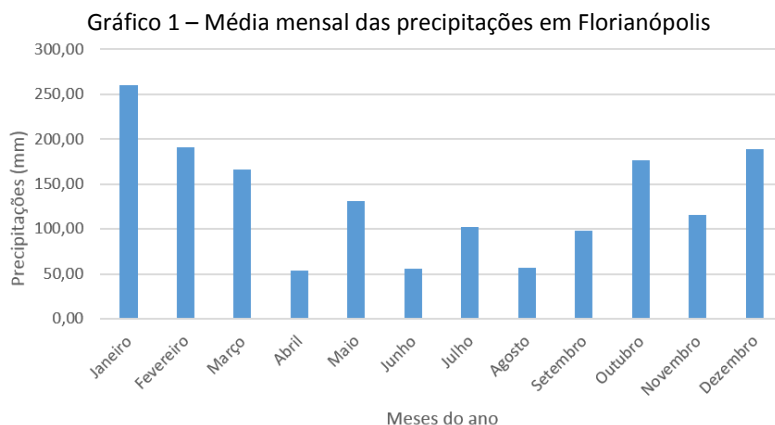
Figura 15 – Inserção da profundidade do NA em pontos situados no rio



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Torna-se importante destacar que a carta de profundidade do NA gerado com todos os pontos analisados é uma aproximação, considerando a variação que ocorre de acordo com a sazonalidade do clima e das estações do ano. Dessa forma, o banco de dados elaborado também contém as datas em que cada levantamento foi realizado e, com base na análise das precipitações médias mensais do município de Florianópolis, os furos de sondagem puderam ser divididos em dois grupos, de forma a realizar a análise no período chuvoso e do período seco.

Por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obteve-se a série histórica das precipitações na região entre os anos de 1921 e 2015, cuja média mensal é apresentada no Gráfico 1.



Fonte: INMET (1921 a 2015). Elaborado pela autora (2016).

Ao analisar os resultados, ratificou-se a ocorrência de maiores volumes de chuvas nos meses de verão, especialmente, em janeiro, e de períodos mais secos nas estações de temperatura amenas. Assim, para as análises de NA, considerou-se os meses de outubro a março como período chuvoso e os meses de abril a setembro como período seco.

#### 4.2.2.3 Análise dos tipos de solo

As camadas de solo dos boletins de sondagens também foram estudadas, com o objetivo de realizar a classificação do tipo de solo, que compõe cada furo, segundo a sua origem (solos residuais ou sedimentares) e, ainda, em cada metro de profundidade, segundo sua granulometria (silte, argila, areia e pedregulho), fundamental para posterior caracterização geológico-geotécnica da área de estudo.

Nos laudos de sondagem, a descrição do solo abrange três aspectos, respectivamente:

- Granulometria.
- Coloração.
- Estado de consistência.

Para a classificação do solo segundo sua origem, a granulometria e o estado de consistência foram analisados indiretamente ao se verificar, no laudo de cada furo, o comportamento do  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade. Solos sedimentares, habitualmente, apresentam uma considerável variação granulométrica entre as camadas investigadas, com  $N_{SPT}$  baixo ou muito variável para cada metro (não crescentes). Por sua vez, os solos residuais comumente possuem as dimensões dos grãos crescentes ao longo das perfurações, ganham resistência com a profundidade e, conseqüentemente, apresentam impenetrável na sequência do aumento da compactidade das camadas.

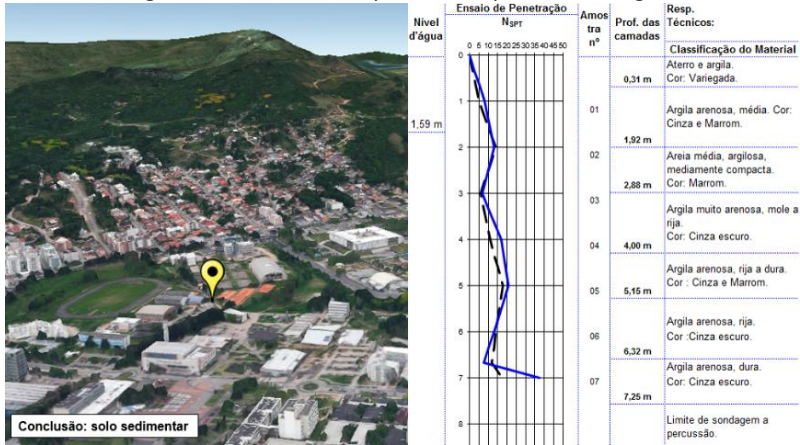
Aliada a avaliação do  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade, também se observou a coloração do solo identificada nas sondagens, uma vez que cores quentes, como vermelho, marrom e amarelo são indícios de que o solo é residual, assim como a indicação de variegado, quando há mais de duas cores. Em contrapartida, tonalidades cinza, preta, branca, azul e verde, por vezes intercaladas com marrom e amarelo, estão presentes em grande parte dos solos sedimentares.

Além disso, juntamente com a análise do  $N_{SPT}$  ao longo das camadas e da coloração do solo, verificou-se o relevo em que o furo estava inserido, uma vez que solos residuais costumam ocorrer na parte elevada de uma encosta, ou seja, mais próximo do seu cume, enquanto que solos sedimentares rotineiramente são encontrados em pé de morro e regiões planas. Em casos de dúvida, também se verificou o nível de água, já que quanto mais próximos à superfície, maiores são as chances de se tratar de um solo sedimentar.

A Figura 16 evidencia esse processo de análise dos laudos para identificação do tipo de solo segundo sua origem. Conforme pode-se observar, o ponto apresentado possui variabilidade de  $N_{SPT}$  ao longo das camadas, coloração cinza em sua maioria, granulometria irregular entre as amostras, NA próximo à superfície, assim como situa-se em região plana. Assim, constatou-se a presença de solo sedimentar nesse furo de sondagem.



Figura 16 – Análise do tipo de solo quanto sua origem



Fonte: Acervo próprio de sondagens SPT.

Ademais, para posterior caracterização do subsolo da região em estudo, foi incorporado ao banco de dados geológico-geotécnico o tipo de solo encontrado em cada metro de profundidade, para os furos mantidos na análise do impenetrável.

4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS EM SIG

De posse dos dados tratados, foi possível iniciar o processamento em ambiente SIG, fazendo-se uso, neste trabalho, do *software* ArcGIS®. Essa etapa envolveu a consolidação e o georreferenciamento dos dados adquiridos, elaboração de mapas temáticos, bem como de cartas representativas do perfil geológico-geotécnico do Campus sede da UFSC, em Florianópolis.

4.3.1 Georreferenciamento dos dados

Conforme explanado anteriormente, a partir do mapa atualizado do Campus, realizaram-se edições de forma a compatibilizar o arquivo para leitura em SIG. Assim, após esse trabalho, os objetos referentes a cada camada que se deseja representar (edificações, contorno do Campus, malha viária e hidrografia) foram isolados cada qual em uma camada de dados e, posteriormente, georreferenciados.



Para isso, fez-se uso da extensão do ArcGIS®, denominada ArcCatalog, em que se determinou, inicialmente, o tipo de projeção, o Datum e a zona em que as coordenadas do Campus estavam inseridas. O sistema definido foi o Sistema *Universal Transversa de Mercator* (UTM), utilizando-se o *South American Datum* 1969 (SAD 69) e a zona UTM 22S, onde se encontra a área de estudo. Contudo, posteriormente, os arquivos foram convertidos para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização no ano de 2000 (SIRGAS 2000), pois este foi estabelecido pelo IBGE como o novo sistema de referência geodésico brasileiro a partir de 2015.

Os pontos de sondagem também foram importados do mapeamento inicial realizado no Google Earth para o ambiente SIG e convertidos de WGS 1984 para SIRGAS 2000, mantendo-se assim a padronização dos dados. Nesse sentido, os demais dados utilizados no trabalho, como as curvas de nível adquirida da SDS e o mapeamento geotécnico, também sofreram transformações geodésicas de modo a adequar-se ao sistema de referência oficial brasileiro.

#### 4.3.2 Elaboração de mapas temáticos

Com os arquivos devidamente georreferenciados, foram elaborados mapas temáticos da área de estudo, os quais permitiram o conhecimento das elevações do Campus sede da UFSC, assim como de declividade, hidrografia, edificações e malha viária, além de servirem de subsídios – associadas ao banco de dados geológico-geotécnico – para posterior elaboração de cartas referentes a elementos do subsolo.

##### 4.3.2.1 Modelo Digital do Terreno (MDT)

O modelo digital do terreno (MDT) é uma representação de um fenômeno que ocorre em determinada região da superfície terrestre, sendo fundamental em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas em ambiente SIG (FELGUEIRAS, 1999). Nesse contexto, no presente estudo, elaborou-se um MDT para representar matematicamente e graficamente a altimetria do Campus sede da UFSC, a partir das curvas de nível da região obtidas para cada metro.

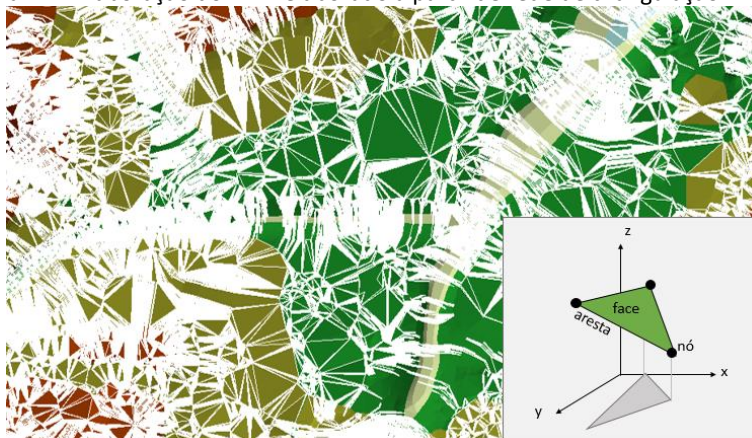
Dessa forma, por meio das coordenadas tridimensionais conhecidas associadas às curvas de nível, as amostras foram processadas de forma a criar o modelo digital para representar a variabilidade do

fenômeno altimétrico nessa região, utilizando-se interpoladores do tipo TIN.

Mourão e Rocha (2001, *apud* MEDINA e MEDINA, 2007) reforçam que o TIN se constitui em estruturas do tipo vetorial, compostas de arestas e vértices, que compõe a superfície por meio de faces triangulares interligadas. Assim, para cada um dos nós ou vértices dos triângulos são armazenadas as coordenadas de localização  $x$ ,  $y$  e o atributo  $z$ , o qual é estimado para qualquer ponto da superfície por meio de interpolação dos valores de altitude/elevação.

A Figura 17 apresenta uma parte do MDT elaborado por interpoladores TIN e, em sua parte inferior direita, é demonstrada a aplicação do método de triangulação.

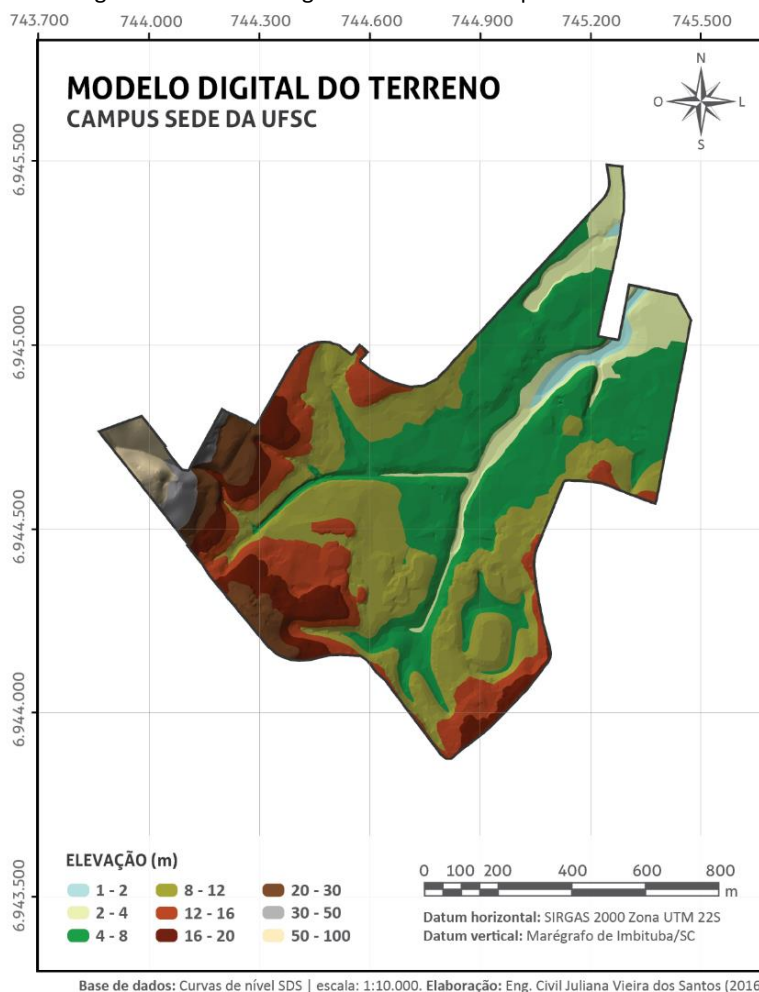
Figura 17 – Elaboração do MDT elaborado a partir de rede de triangulação



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

O MDT elaborado (Figura 18) serviu de auxílio na aferição do tipo de solo em cada furo, no desenvolvimento do mapa de declividade e na geração das cartas de aptidão para fundação.

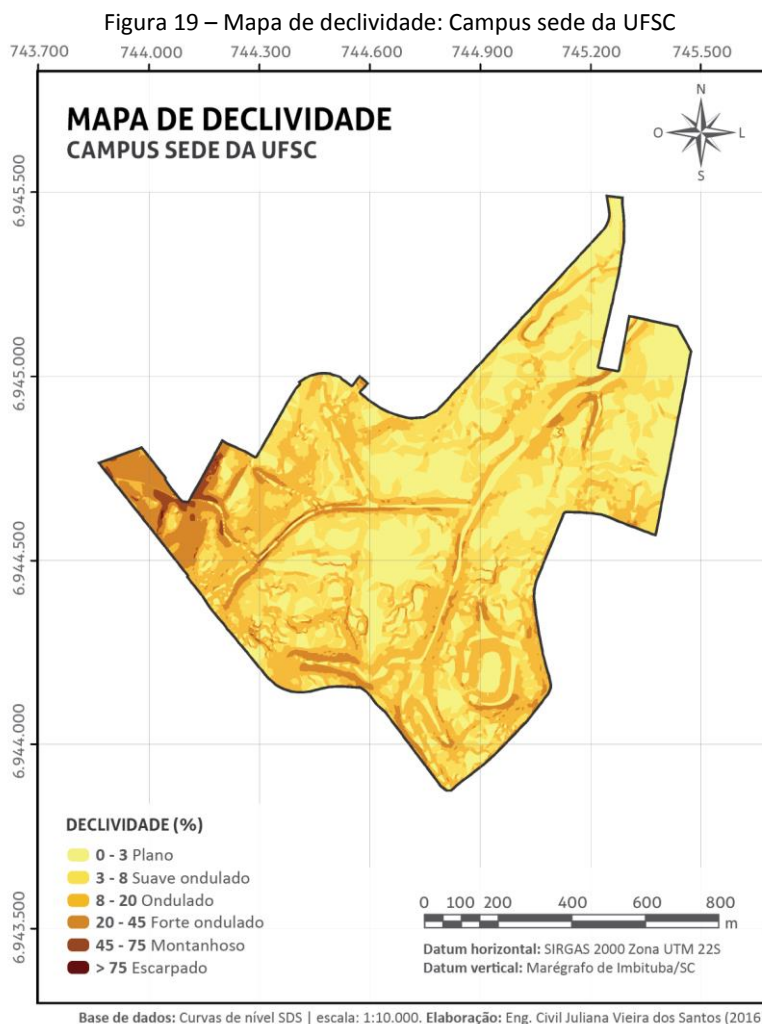
Figura 18 – Modelo digital do terreno: Campus sede da UFSC



#### 4.3.2.2 Mapa de declividade

Para a elaboração do mapa de declividade em ambiente SIG, utilizou-se o MDT em formato matricial, que dispõe dos dados de elevação espaçados em cada célula (*pixel*) que compõe a *grid*. As declividades são calculadas por meio da função de derivação na vizinhança de cada célula para toda a área de interesse (VALENZUELA, 1991 *apud* VALERIANO, 2003).

O mapa de declividade gerado (Figura 19) foi organizado de forma a apresentar-se segundo a classificação recomendada por Embrapa (2013), na mais recente versão do SiBCS.



O mapa de declividade, juntamente com o MDT, serviu de base para a caracterização do relevo da área de estudo, além de auxiliarem, em consonância com os laudos de sondagem, na identificação e

caracterização do tipo de solo em cada furo analisado. Ademais, de posse do mapa de declividade do Campus sede da UFSC, pode-se extrair automaticamente a variável declividade, expressa em porcentagem, e realizar análises dos aspectos topográficos da região, assim como gerar novas informações quando associado a outros dados.

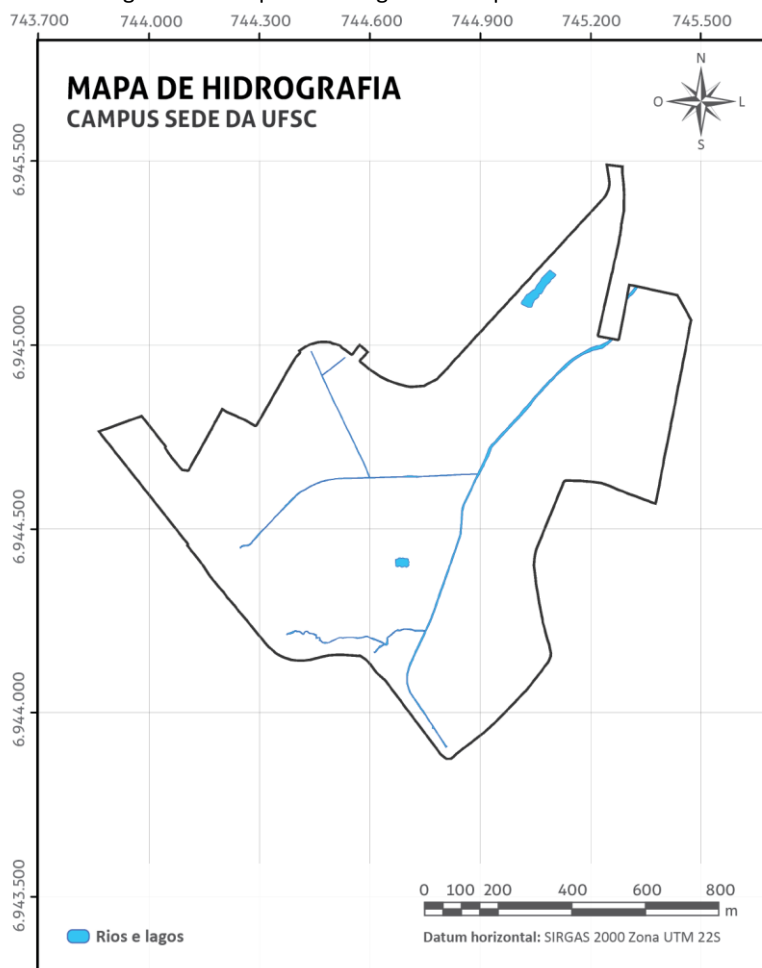
#### 4.3.2.3 Mapa de hidrografia

Conforme já destacado, o mapa do Campus adquirido dispunha do levantamento topográfico dos cursos d'água e lagos existentes na área de estudo, assim, após o tratamento explanado anteriormente, inseriu-se o arquivo CAD em ambiente SIG e realizou-se a sua transformada para o formato *shapefile*.

Posteriormente, com base na sobreposição de imagem aérea e do mapa de cursos de água disponível pela Epagri e pelo IBGE, completou-se as descontinuidades existente no levantamento topográfico dos rios – nos trechos em que eles são encobertos por pontes ou outros elementos –, bem como manteve-se no mapa somente os cursos d'água que constavam na base da Epagri classificados como permanente.

A tabela de atributos do *shapefile* também foi organizada, de forma a nomear os rios e lagos cujas denominações constavam em dados oficiais e, assim, obteve-se o mapa de hidrografia do Campus (Figura 20), o qual foi utilizado, neste trabalho, para a caracterização da área de estudo e, especialmente, na realização das análises de nível d'água, aliado aos laudos de sondagem.

Figura 20 – Mapa de hidrografia: Campus sede da UFSC



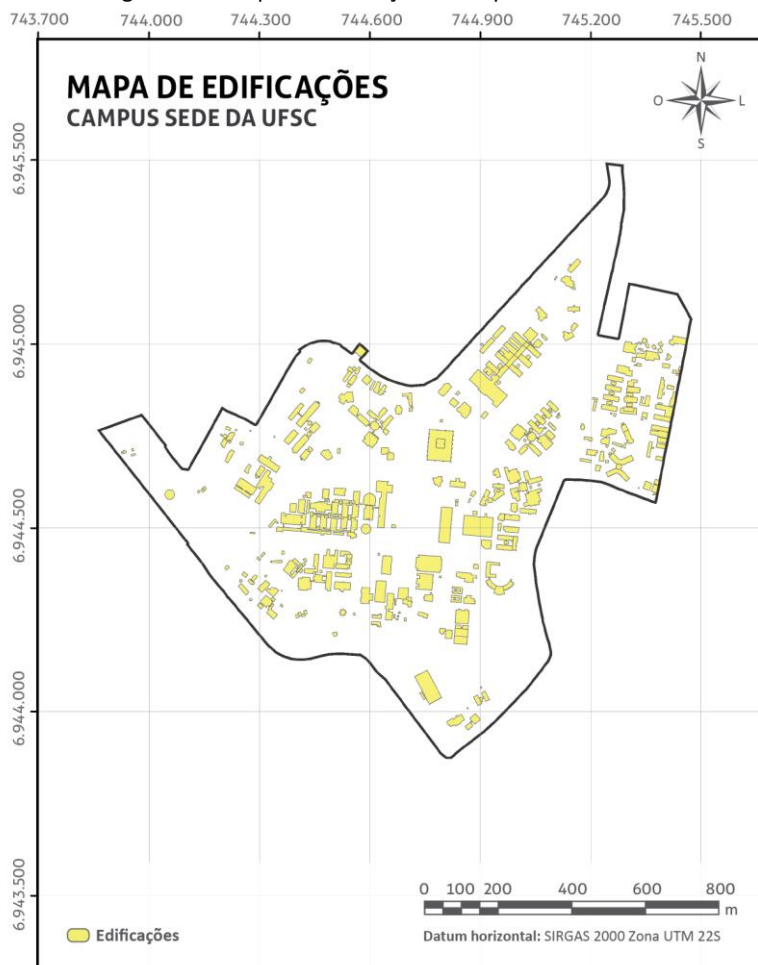
Base de dados: Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial. Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

#### 4.3.2.4 Mapa das edificações

Tomando como base o arquivo CAD tratado e georreferenciado, inseriu-se o mesmo em ambiente SIG e realizou-se a sua transformação para o formato *shapefile*, organizando a tabela de atributos de modo a relacionar cada elemento geométrico representativo das edificações (nesse caso, polígono) com o código e o respectivo nome adotado pela Universidade para os prédios.

Dessa forma, o mapa das edificações do Campus (Figura 21) foi desenvolvido, sendo apropriado para situar espacialmente as análises geradas no âmbito desse trabalho, além de possibilitar a verificação da distribuição espacial das sondagens obtidas, as quais encontram-se, sobretudo, sob as estruturas já construídas, facilitando a consulta de boletins cadastrados no banco de dados.

Figura 21 – Mapa de edificações: Campus sede da UFSC



Base de dados: Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial. Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

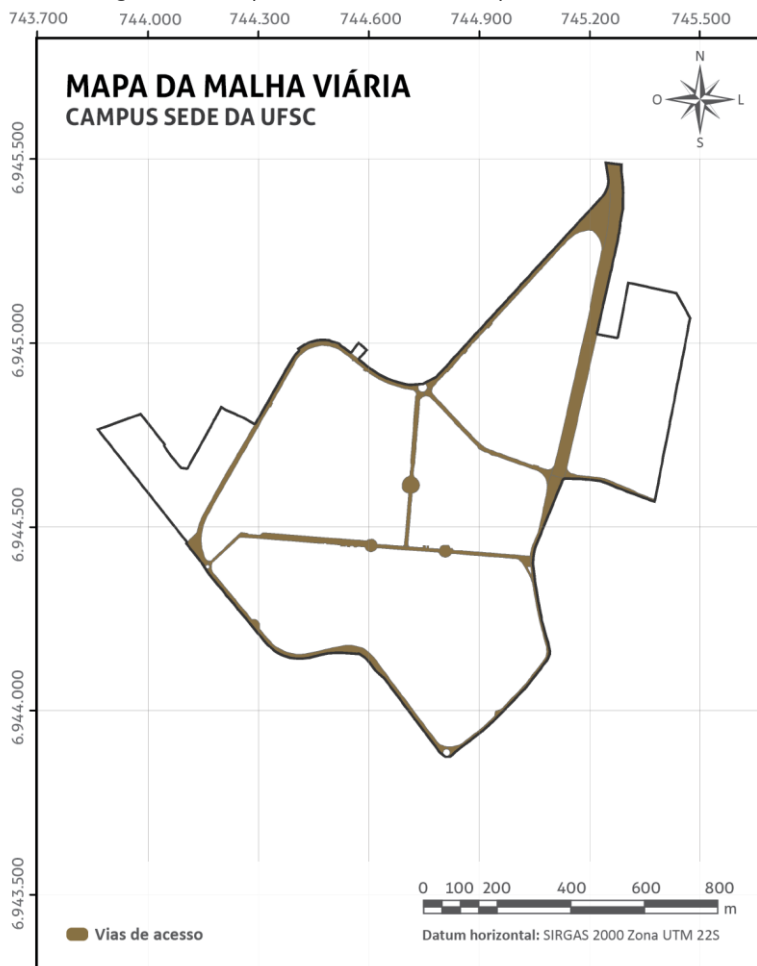
Ademais, com esse mapa, a UFSC passa a dispor de suas edificações em um formato interativo, associado a um banco de dados atualizável, segundo o qual, pode-se adicionar outras informações que os gestores julgarem necessárias.

#### *4.3.2.5 Mapa da malha viária*

Do mesmo modo, também foi gerado um mapa em SIG da malha viária no entorno do Campus (Figura 22), visando facilitar o entendimento das análises do ponto de vista espacial. Assim, para sua elaboração, utilizou-se o mapa do Campus tratado e georreferenciado com base no levantamento topográfico obtido junto ao DEPAE, convertendo-o para o formato *shapefile*. Na sequência, estruturou-se a tabela de atributos de forma a obter o nome de cada uma das vias.



Figura 22 – Mapa de malha viária: Campus sede da UFSC



Base de dados: Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial. Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

#### 4.3.3 Desenvolvimento do banco de dados geológico-geotécnico

O banco de dados geológico-geotécnico teve como subsídio a planilha elaborada no processo de digitalização das informações constantes nos laudos sondagem e o arquivo KML desenvolvido com a localização dos pontos de sondagem. Dessa forma, tendo em vista que o objeto geográfico utilizado em SIG para armazenamento e representação dos dados das sondagens é o ponto, procedeu-se com a

conversão e o georreferenciamento dos marcadores do arquivo KML no referido formato *shapefile*.

Em seguida, a planilha eletrônica foi incorporada à tabela de atributos do *shapefile*, cujas informações nela contidas foram associadas automaticamente por meio do identificador (ID) de cada furo de sondagem. Dessa forma, as linhas da tabela, que se referem cada qual a um ponto de sondagem, passaram a contemplar as informações dos laudos dispostas nas colunas, conforme campos destacados na seção 4.2.2.

Além dos campos provenientes da digitalização dos laudos, no SIG foram adicionadas outras informações, como as coordenadas x e y (E e N) dos pontos, por meio da possibilidade de o sistema calcular e dispor os parâmetros geométricos dos elementos do *shapefile*, assim como a cota da boca de cada furo de sondagem, mediante o cruzamento dos dados de altimetria dispostos no MDT com a localização dos pontos que compõe o banco de dados. Diante desse dado, pôde-se criar colunas adicionais na tabela de atributos para o cálculo da cota do impenetrável e do nível d'água, subtraindo-se o valor das respectivas profundidades do valor da cota do terreno.

Do mesmo modo, pode-se acrescentar a informação da declividade do terreno e da unidade geotécnica em cada ponto de sondagem, obtidas, respectivamente, por meio do cruzamento da localização do furo com o mapa de declividade e com o mapeamento geotécnico.

Destaca-se também que, haja vista a possibilidade de o SIG associar arquivos às entidades gráficas, no banco de dados geológico-geotécnico também foi inserida uma coluna com o caminho em que os laudos de sondagem de cada ponto encontram-se armazenados e, em outro campo, o nome dos arquivos para as devidas vinculações.

Com base no exposto, a tabela de atributos do *shapefile* dos pontos referentes a cada furo de sondagem localizado no Campus sede da UFSC foi composta dos atributos listados e descritos no Quadro 11.

Quadro 11 – Descrição dos atributos que compõe o banco de dados

Atributo	Descrição
FID	Campo obrigatório e independente da tabela, referente à contagem e identificação. Toda vez que um arquivo <i>shapefile</i> é criado, o próprio programa organiza por ordem de criação as feições geométricas.
Shape	Trata-se também de um campo obrigatório e independente da tabela. Gerado pelo SIG, este atributo indica o tipo de arquivo vetorial (Polígono, Linha ou Ponto), e não pode ser modificado manualmente.
ID_furo	Contém o identificador de cada ponto, ou seja, a nomenclatura que foi adotada para eles.
Coord_E	Encontram-se as coordenadas E dos furos de sondagem, considerando a projeção UTM e o sistema SIRGAS 2000.
Coord_N	Do mesmo modo que o anterior, esse campo apresenta a coordenada N de cada ponto.
Cota	Esse atributo refere-se a altitude de cada furo de sondagem, tendo como referência o <i>Datum</i> Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), que considera o Marégrafo de Imbituba.
Declividade	Informa a declividade do terreno, em percentual, nos pontos analisados.
Unid_Geot	Apresenta a unidade geotécnica em cada furo de sondagem.
Empresa	Indica o nome da empresa executora da sondagem em determinado ponto.
Data	Esse atributo traz a data (dia, mês e ano) em que cada investigação geotécnica foi realizada.
Prof_imp	Nesse campo estão cadastradas as profundidades, em metros, do impenetrável a percussão.
Cota_imp	Criado a partir da subtração do valor registrado no campo anterior do referido valor na coluna Cota, indica a cota em que o impenetrável de cada furo está localizado.
Prof_NA	Essa coluna dispõe dos registros das profundidades em que se encontrou nível d'água nos pontos analisados.
Cota_NA	Aponta a cota em que o lençol freático está localizado, segundo a profundidade indicada nos boletins de sondagens subtraída da cota da boca do furo.
Nspt_Xm	Apresenta o $N_{SPT}$ obtido na profundidade de X metros (com X variando de 1 m até a profundidade do impenetrável do furo), representado pelo número de golpes necessários para cravar os últimos 30 centímetros do amostrador padrão ou, em certos casos, dos primeiros 30 centímetros.

Atributo	Descrição
Obs	Trata-se de um campo em que são inseridas algumas informações a respeito, sobretudo, de algum detalhamento sobre o $N_{SPT}$ do último metro.
Tipo_solo	Nessa coluna encontra-se o tipo de solo segundo sua origem, o qual foi classificação de acordo com os indícios existentes nos laudos.
Solo_Xm	Esse atributo apresenta o tipo de solo existente em X metros de profundidade – em cada ponto analisado – segundo a granulometria predominante, com X variando de 1 m até o impenetrável.
Caminho	Campo atribuído para a inserção do caminho onde encontram-se armazenados os laudos de sondagem de cada furo.
Laudos	Refere-se ao nome do arquivo dos laudos de sondagem.

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

É importante mencionar que outros atributos de interesse, em diversos formatos (numéricos, textuais, temporais, imagens e até mesmo vídeo), poderão ser incorporados posteriormente ao banco de dados, assim como as informações já cadastradas terão a possibilidade de serem atualizadas.

Com o banco de dados consolidado na plataforma SIG, o arquivo gerado com os pontos de sondagem associados aos seus respectivos atributos na tabela pode ser utilizado para gestão e análise dos dados cadastrados. Nesse contexto, o presente estudo faz uso da geoestatística para transformar as informações arquivadas em cartas suscetíveis de caracterização do perfil geológico-geotécnico da área de estudo.

#### 4.3.4 Aplicação de geoestatística

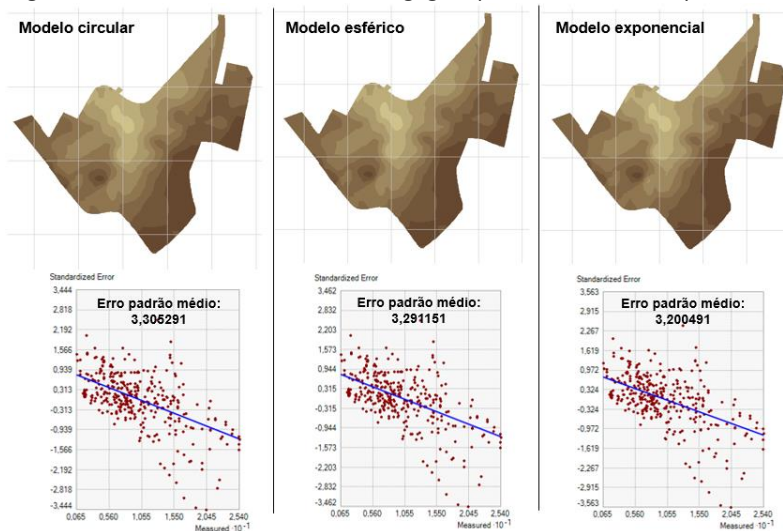
Após o desenvolvimento do banco de dados, aplicou-se a geoestatística para elaboração de cartas geológico-geotécnicas da área de estudo. Ressalta-se mais uma vez que as técnicas de estatística espacial se distinguem dos métodos empregados na estatística convencional por considerar as coordenadas dos dados nos processos de análise.

No presente estudo, fez-se uso de interpolações que se utilizam de processos de krigagem do tipo ordinária, por ser um método consolidado na literatura de ciências do solo (PESCIUM, URBANO e DEMÉTRIO, 2010). Contudo, para cada tipo de carta elaborada foi

verificado o modelo de semivariograma que melhor se conforme aos dados, ou seja, o que resulte em um menor erro médio.

Como exemplo, a Figura 23 traz a comparação entre os resultados obtidos para a superfície do impenetrável a percussão, utilizando-se os três modelos de semivariogramas mais verificados na literatura para aplicação em dados do meio físico.

Figura 23 – Análise dos modelos de krigagem para os dados de impenetrável



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Por meio da Figura 23 percebe-se que a diferença entre os modelos é relativamente pequena, porém, ainda assim, adotou-se o modelo exponencial nas análises envolvendo os dados do impenetrável por apresentar menor erro padrão médio. Nesse sentido, foi averiguado o modelo de semivariograma mais adequado ao conjunto de dados utilizados na elaboração das cartas, as quais são apresentadas na sequência, juntamente com a análise de seus resultados.

#### 4.3.4.1 Cartas de tipos de solo

Ao elaborar o banco de dados geológico-geotécnico, de forma a inserir, a cada metro de profundidade, o solo registrado nos laudos de sondagem, segundo a granulometria predominante, foi possível

desenvolver cartas dos tipos de solo existentes na área de estudo em qualquer uma das camadas que se deseja analisar. Para isso, a interpolação dos furos de sondagem foi viabilizada por meio da adoção de valores numéricos para representar os tipos de solo.

Assim, considerando a granulometria prevalecente em cada camada, o Quadro 12 apresenta os elementos encontrados no subsolo da área de estudo com os respectivos valores atribuídos para representá-los, a fim de possibilitar a realização das interpolações. É importante mencionar que as regiões que atingiram o impenetrável à percussão passaram a ser designadas de rocha.

Quadro 12 – Parâmetros para interpolação

<b>Tipo de solo</b>	<b>Valor atribuído</b>
Argila	0
Silte	1
Areia	2
Pedregulho	3
Rocha	4

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

As cartas de tipos de solo podem ser desenvolvidas para qualquer profundidade. Todavia, de forma a reduzir a quantidade de cartas apresentadas para esse parâmetro, as representações gráficas dos tipos de solo foram elaboradas a cada dois metros de profundidade e seguem até a camada em que não há discrepância expressiva entre as cores de cartas subsequentes. Desse modo, as cartas são apresentadas, inicialmente, para a profundidade de 1 metro e seguem até a profundidade de 19 metros.

Com as cartas resultantes da análise dos solos em cada furo de sondagem foi possível obter um conhecimento detalhado da pedologia do Campus sede da UFSC, de forma a orientar na definição do tipo de solo a ser encontrado em determinado local na profundidade desejada, auxiliando no cálculo da movimentação de terra necessária em uma obra, na escolha das fundações, assim como na análise dos resultados de sondagens posteriormente contratadas.

#### 4.3.4.2 Cartas de aptidão para fundações

A partir da base de dados elaborada, foi possível desenvolver diversas cartas que representam o comportamento do subsolo do Campus sede da UFSC, as quais dispõem de informações relevantes para o planejamento, orçamento e pré-análise de localização de novas construções em relação a fundações.

Nesse sentido, a seguir são apresentados os critérios adotados para elaboração das cartas representativas da superfície do lençol freático e da superfície do impenetrável à percussão, assim como das cartas de orientação para fundações superficiais e profundas, isovalores de tensão admissível do solo para fundação superficial, isovalores de  $N_{SPT}$  e indicativo do comprimento máximo de estacas.

##### 4.3.4.2.1 Cartas de superfície do impenetrável a percussão

Conforme explanado anteriormente, no critério de definição do impenetrável, levaram-se em conta os valores constantes nos boletins de sondagem, os quais tomam como base as sugestões propostas pela NBR 6484/2001. Assim, os valores utilizados referem-se a profundidades alcançadas quando o número de golpes ultrapassa 30 sem que se tenha alcançado qualquer um dos três segmentos de 15 cm, alcance 50 durante toda a cravação ou, ainda, se não houver avanço do amostrador-padrão durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.

Dessa forma, de posse da localização espacial dos furos que contém os dados de impenetrável devidamente tratados e digitalizados, realizou-se a interpolação dos valores das profundidades, assim como das cotas, obtendo-se cartas representativas do impenetrável ao longo de toda a área de estudo.

Cabe salientar que, a partir das cotas do impenetrável em cada furo, ainda foi elaborado um Modelo Digital de Superfície (MDS) para representar tridimensionalmente os resultados obtidos, o qual teve como nível de referência o marégrafo de Imbituba (SC).

##### 4.3.4.2.2 Cartas de superfície freática

As superfícies freáticas foram desenvolvidas em duas etapas, primeiramente, realizou-se a interpolação da profundidade do nível d'água de todos os furos de sondagem analisados, com e sem a inclusão

dos pontos inseridos, por meio da hidrografia da região, ao longo do Rio Sertão.

Posteriormente, com vistas a análise de sazonalidade, separaram-se os furos que dispunham de dados referentes ao nível d'água em função de dois períodos: outubro – março (período de chuvas) e abril – setembro (estação mais seca). Conforme pode ser visto na Tabela 1, 58% das sondagens utilizadas nessa análise foram realizadas no período chuvoso e 42% no período seco.

Tabela 1 – Quantidade de furos utilizados para análise de NA

Período	Quantidade de furos	Percentual
Chuvoso	168	58%
Seco	123	42%
Total	291	100%

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Com base na comparação entre os dois mapas gerados (período chuvoso e período seco) foi possível avaliar a variação da superfície freática de acordo com a época do ano, uma vez que a profundidade do nível d'água caracteriza-se como um fator limitante na escolha de tipos de fundações.

Do mesmo modo que na análise do impenetrável, também foi gerado um MDS para representar tridimensionalmente os resultados obtidos para a superfície freática em cada uma das quatro situações de NA estudadas e será apresentado no capítulo de resultados.

#### 4.3.4.2.3 Cartas de orientação para fundações: superficiais ou profundas

As cartas de orientação a fundações superficiais (diretas) ou profundas foram desenvolvidas com base na consideração de viabilidade econômica exposta por Rebello (2011), conforme abordado na seção 2.2.3, e tendo como referência os limitantes da equação apresentada por Hachich *et al.* (1998) para fundações diretas (também detalhada na seção 2.2.3).

Dessa forma, em cada furo analisado, os seguintes fatores foram adotados na elaboração das cartas de orientação para fundações:



- Limite máximo de dois metros de profundidade para assentamento de fundação direta.
- $N_{SPT} \geq 5$  na profundidade analisada e abaixo desta<sup>3</sup>, de forma a evitar assentamento de fundação direta sobre solo mole ou fofo.
- Zonas não condizentes com os critérios precedentes direcionadas para fundação profunda.

Nas cartas de orientação elaboradas para as duas profundidades analisadas, também foram inseridas informações acerca da presença da superfície freática, uma vez que tal parâmetro pode direcionar a tomada de decisão quanto ao tipo de fundação a ser adotada.

É importante mencionar que as cartas de orientação para o uso de fundações diretas ou profundas apresentadas neste estudo são apropriadas às seguintes situações:

- Cargas aplicadas aos pilares inferiores a 500 kN (50 tf), devido às restrições de economicidade dos blocos de fundações.
- Sapatas com área de base de até 5 m<sup>2</sup>, de acordo com o cálculo demonstrado a seguir, utilizando-se a Equação (1) e a equação de pré-dimensionamento de uma sapata isolada de concreto armado de largura “B” e comprimento “L”, com reação vertical do pilar “P”, conforme Equação (6) apresentada a seguir.

Ao considerar o limite inferior ( $N_{SPT} = 5$ ) de aplicabilidade da Equação (1), tem-se a seguinte tensão admissível do solo no pior caso:

$$\begin{aligned}\sigma_a &= 0,02 \cdot N_{SPT} \\ \sigma_a &= 0,02 \cdot 5 \\ \sigma_a &= 0,1 \text{ MPa} \\ \sigma_a &= 100 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Com base na Equação (6) e adotando-se a carga aplicada de 500 kN como limitante para viabilizar economicamente a execução de fundações diretas, obtém-se:

---

<sup>3</sup> Nesse caso, utilizou-se como limite inferior de  $N_{SPT}$  o parâmetro estabelecido pela Equação (1), de forma a compatibilizar essa com as demais análises, apesar de Rebello (2001) recomendar a execução de fundações superficiais em solos com  $N_{SPT} \geq 8$ .

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{B \cdot L} \\ \sigma &= \frac{P}{A_b} \\ A_b &= \frac{500}{100} \\ A_b &= 5 \text{ m}^2\end{aligned}\tag{6}$$

Considerando-se uma base quadrada, tem-se:

$$\begin{aligned}B^2 &= 5 \\ B &= \sqrt{5} \\ B &\cong 2,24 \text{ m}\end{aligned}$$

Dessa forma, salvo as observações já realizadas, as cartas de orientação quanto ao tipo de fundação nos dois primeiros metros de profundidade foram geradas por meio da interpolação dos valores atribuídos aos pontos de sondagem conforme resultado do algoritmo desenvolvido, que indicou a propensão de execução de fundação superficial ou profunda. Adotou-se o número 0 para representar a fundação superficial e o algarismo 1 para rotular o furo com propensão à execução de fundação profunda e, assim, pôde-se aplicar a krigagem, sendo o resultado dividido em duas categorias: regiões com valores variando entre 0 e 0,5 (aptidão a fundação rasa) e zonas com valores variando entre 0,5 e 1 (aptidão a fundação profunda).

#### 4.3.4.2.4 Cartas de isovalores de tensão admissível

Com o objetivo de realizar a interpolação necessária à geração das superfícies de isovalores de tensão admissível do solo, para cada metro de profundidade analisado, foram obtidos os valores de tensão admissível nas camadas dos furos de sondagem utilizando a Equação (1), a qual tem aplicação restrita à fundação superficial. Assim, os resultados demonstrados por meio dessas cartas orientam o dimensionamento de fundações diretas.

Destaca-se que, devido ao fato de a equação ser limitada a  $5 \leq N_{\text{SPT}} \leq 20$ , assumiu-se o valor de 0,1 MPa (100 kN/m<sup>2</sup>) como limite inferior de tensão admissível e 0,4 MPa (400 kN/m<sup>2</sup>) como limite

superior. Ademais, realizou-se a análise apenas para as profundidades em que, conforme explanado anteriormente, há viabilidade econômica na execução de fundações rasas. Assim, as cartas foram geradas até quatro metros de profundidade, a fim de considerar, além das profundidades de assentamento da fundação direta, a tensão admissível no bulbo de tensões.

Nesse sentido, conforme exposto na seção 2.2.3, a profundidade do bulbo de tensões varia de acordo com a geometria definida para a sapata e, portanto, para que os resultados possam ser aplicados a diferentes situações, não foi determinada uma geometria padrão para elaboração das cartas. Dessa forma, no cálculo das tensões admissíveis em cada metro, utilizou-se o  $N_{SPT}$  na cota de apoio da sapata, pois, assim, o valor médio do  $N_{SPT}$  no bulbo de tensões poderá ser obtido determinando-se a média das tensões admissíveis nas profundidades contempladas pelo bulbo de tensão em questão.

#### 4.3.4.2.5 Cartas de isovalores de $N_{SPT}$

Cartas de isovalores de  $N_{SPT}$  também podem ser elaboradas por meio do banco de dados instituído, a fim de possibilitar um direcionamento quanto ao tipo de fundação profunda a ser utilizada no local desejado. Assim, através da interpolação dos valores de  $N_{SPT}$  em cada profundidade analisada, obtém-se curvas de mesma resistência do solo para a área de estudo.

Para uma melhor visualização, as cartas desenvolvidas apresentam os valores de  $N_{SPT}$  agrupados em intervalos de 5 golpes, em que cada grupo será representado por uma determinada cor. Nesse contexto, para este estudo, a exemplo das cartas de tipos de solo, as cartas são apresentadas, inicialmente, para a profundidade de 1 metro e seguem a cada dois metros até a camada em que não haja mais discrepância expressiva entre as cores de duas cartas subsequentes.

No entanto, é importante mencionar que, de posse da base de dados elaborada, pode-se desenvolver cartas de isovalores de  $N_{SPT}$  para qualquer profundidade e utilizando-se outras classes de valores de interesse. Destaca-se também que, mediante a análise dessas cartas, será possível avaliar geotecnicamente os perfis de solo em diversos setores do Campus sede da UFSC, de forma a observar, por exemplo, a

ocorrência de camadas com índices de resistência menores (solo mole/fofo).

#### 4.3.4.2.6 Cartas de comprimento máximo de estacas

As cartas de comprimento máximo de estacas podem ser elaboradas através da interpolação das profundidades de apoio das fundações profundas, tomando como base a proposta de Cintra e Aoki (2010) – conforme Quadro 8 – que relaciona intervalos de  $N_{SPT}$  a cotas de apoio para execução de diferentes tipos de estaca.

Para o referido estudo, foram analisados os tipos de estacas mais executados no Campus sede da UFSC, as quais são elencadas na sequência, juntamente com os condicionantes inerentes à bibliografia apresentada na seção 2.2.3.

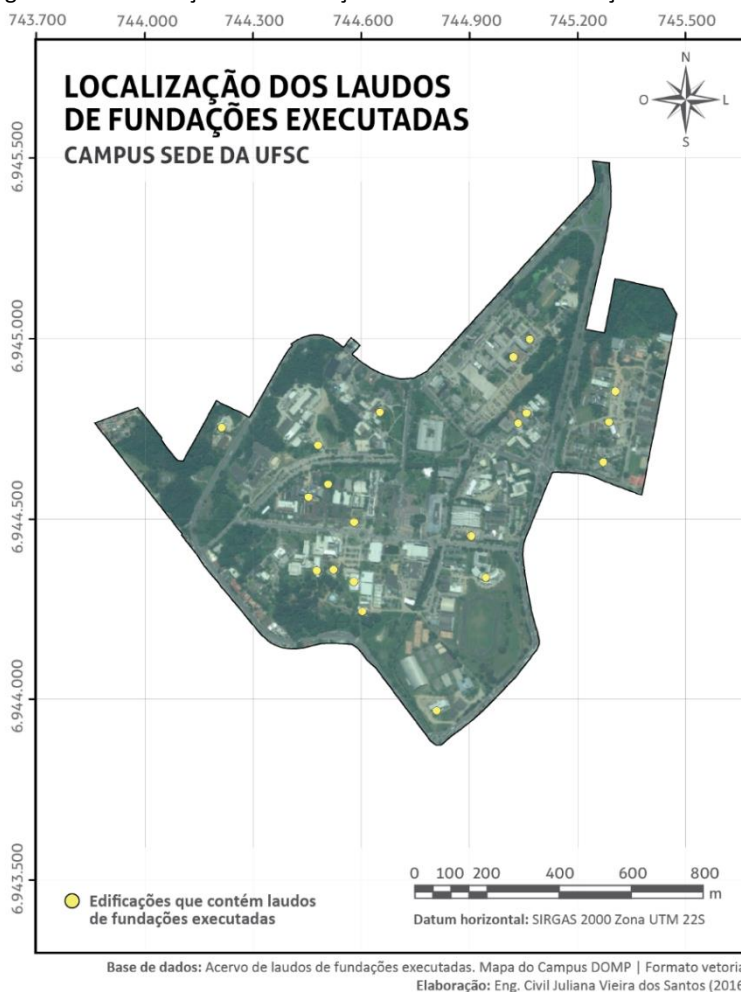
- Hélice contínua: parada entre o intervalo de  $20 < N_{SPT} \leq 45$ .
- Pré-moldada com diâmetro menor que 30 cm: parada entre o intervalo de  $15 < N_{SPT} < 25$ .
- Pré-moldada com diâmetro maior que 30 cm: parada entre o intervalo de  $25 < N_{SPT} \leq 35$ .
- Raiz: parada quando  $N_{SPT} \geq 60$ .

Para as três primeiras, as interpolações consideraram as profundidades onde o limite superior para apoio das estacas está localizado. Todavia, para a estaca raiz, considera-se, em cada ponto, as profundidades em que se atinge o impenetrável à percussão. Dessa forma, as cartas resultantes dessas análises possibilitam a verificação, por exemplo, das regiões que tendem a apresentar estacas mais curtas para cada um dos tipos analisados.

### 4.4 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

A etapa de validação das estimativas obtidas foi realizada por meio da análise de laudos de execução de fundações, fornecidos pela Universidade, de prédios distribuídos ao longo do Campus sede da UFSC. Os documentos obtidos tratam-se de obras de fundações de edificações construídas nos últimos 10 anos e suas referidas localizações encontram-se indicadas na Figura 24.

Figura 24 – Localização das edificações com laudos de fundações executadas



Por meio das informações dos tipos de fundações executadas em cada um dos 20 prédios cujos laudos foram passíveis de serem obtidos, pôde-se realizar a validação das cartas de orientação quanto ao tipo de fundação (superficial ou profunda). Além disso, mediante a informação do comprimento médio das estacas executadas em cada edificação analisada, foi possível validar as cartas de comprimento máximo de estacas.

Assim, haja vista que as cartas mencionadas se utilizam de parâmetros adotados na elaboração das demais cartas, verifica-se que, indiretamente, todos os resultados gerados no estudo puderam ser legitimados. Adicionalmente, a fim de verificar a distribuição dos dados utilizados no desenvolvimento das cartas e, conseqüentemente, a confiabilidade dos resultados, foi realizada uma análise de recobrimento e espaçamento dos dados com base na proposta de Zuquette (1993).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo aborda os resultados alcançados com o trabalho desenvolvido, no sentido de aplicar a ferramenta SIG para análise do perfil geológico-geotécnico e desenvolvimento de cartas de aptidão para fundações para o Campus sede da UFSC, por meio informações provenientes de laudos de sondagem SPT.

### 5.1 ANÁLISE DO PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Para a análise do perfil geológico-geotécnico do Campus sede da UFSC, com base nos boletins de sondagem, foi desenvolvido o banco de dados em ambiente SIG que permitiu a elaboração de cartas de tipos de solo em cada metro de profundidade, as quais são apresentadas na seção seguinte.

#### 5.1.1 Cartas de tipos de solo

As cartas de tipos de solo foram desenvolvidas aplicando-se a técnica de krigagem exclusivamente a partir dos dados das 327 sondagens selecionadas, iniciando-se a 1 metro de profundidade (Figura 25) e finalizando a 25 metros de profundidade, sendo esta a camada em que, conforme laudos de sondagem, não restam elementos que recobrem a superfície do impenetrável a percussão. No entanto, serão apresentadas somente as cartas elaboradas a cada dois metros até 19 metros de profundidade (Figura 34), de forma a reduzir a quantidade de cartas apresentadas para esse parâmetro.

Por sua vez, ao final da seção, a Figura 35 traz uma compilação de todas as cartas geradas, de forma a visualizar simultaneamente a variação da granulometria do solo ao longo das camadas. Além disso, a Tabela 2 apresenta a frequência de áreas para cada tipo de solo nas profundidades observadas, a fim de se ter um indicativo quantitativo para complementar as análises das cartas.

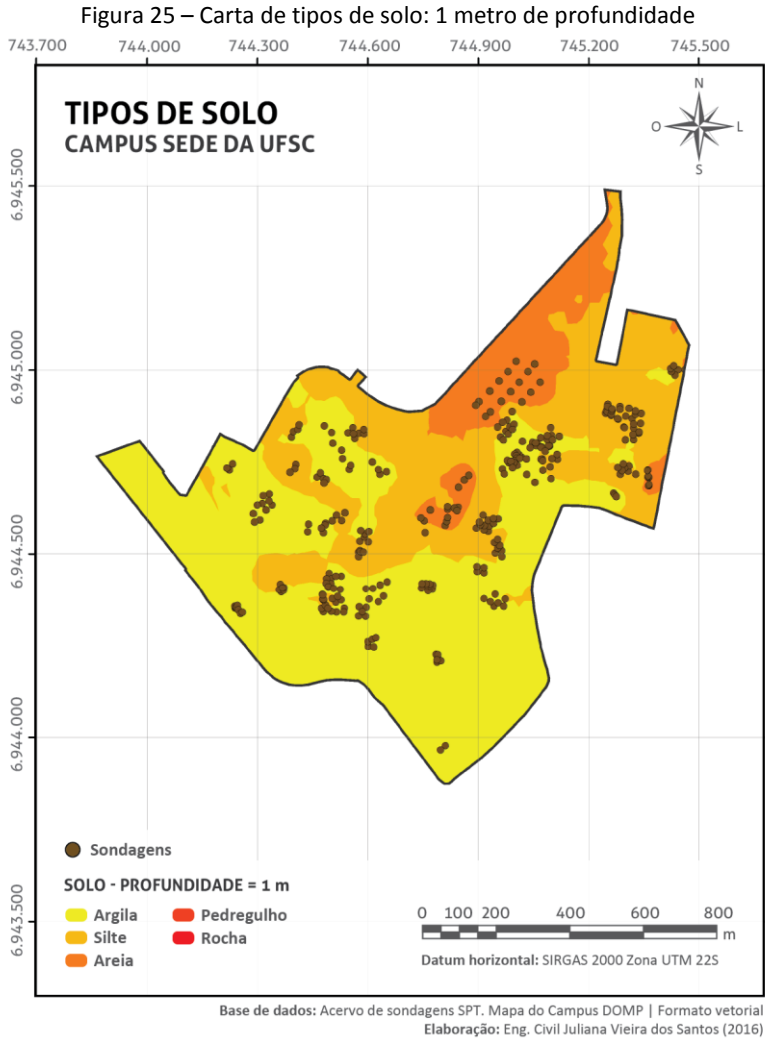
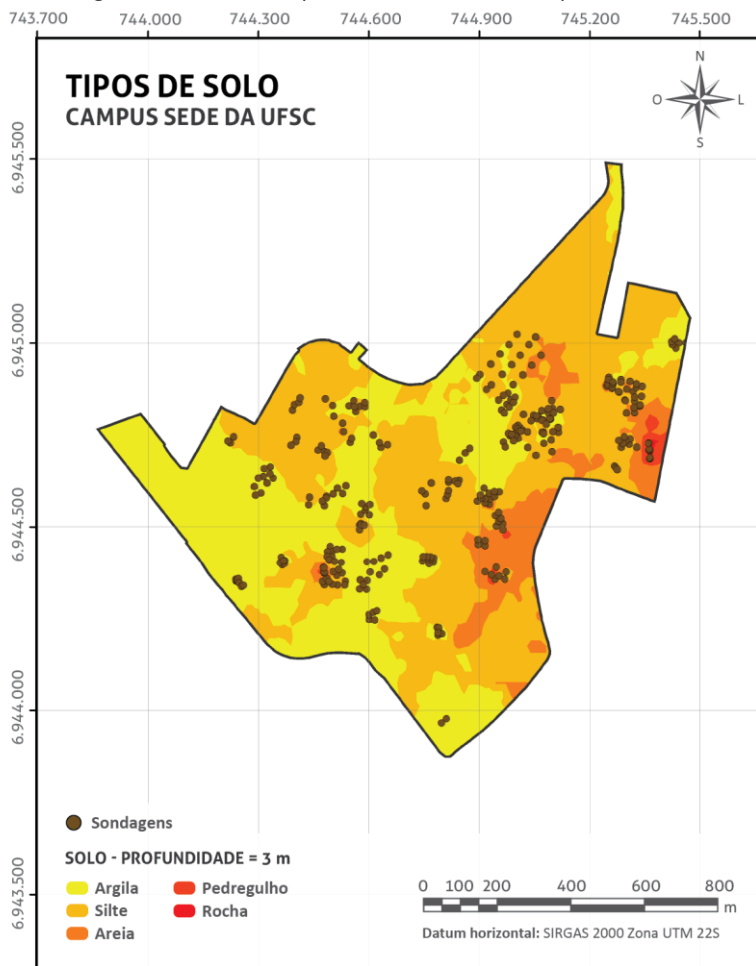




Figura 26 – Carta de tipos de solo: 3 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por contraste visual, a 1 metro de profundidade (Figura 25), é possível perceber tonalidades mais amareladas, referentes a solos argilosos, na maior parte do Campus sede da UFSC, as quais vão alterando-se a 3 metros de profundidade (Figura 26) para tonalidades alaranjadas nas regiões sul e sudoeste, inerentes ao silte. Conforme a Tabela 2, em ambas as cartas, mais de 90% da área encontram-se

recobertas pelos dois tipos de solo supracitados, os quais dispõe de granulometria muito fina.

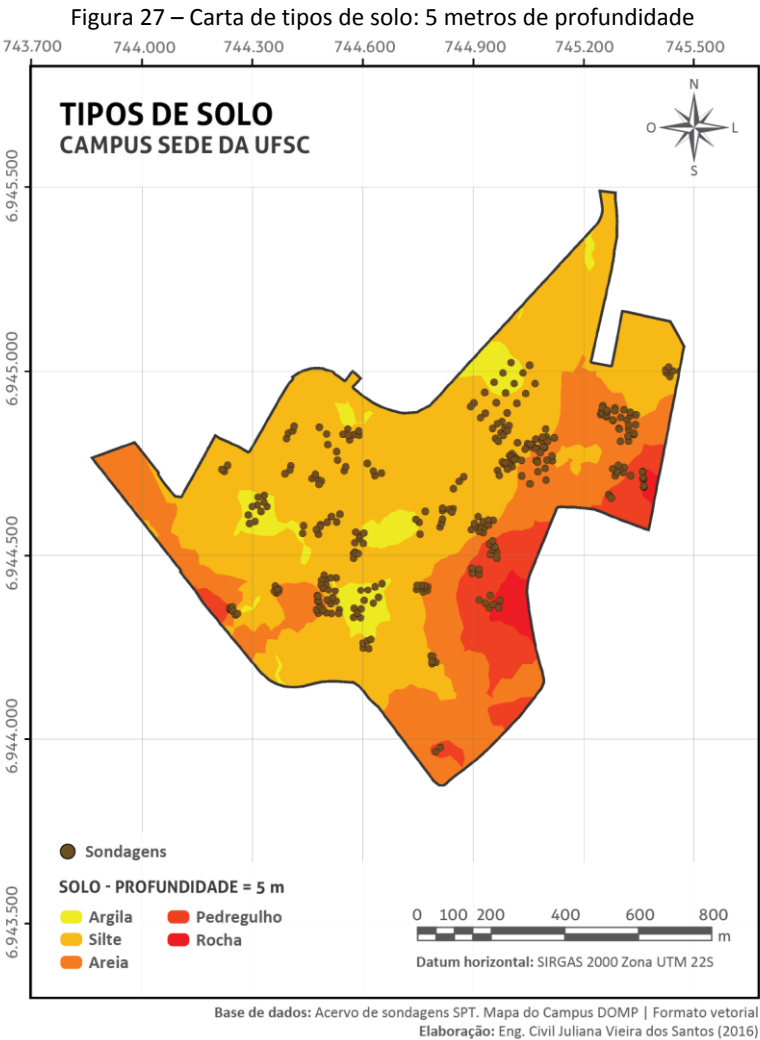
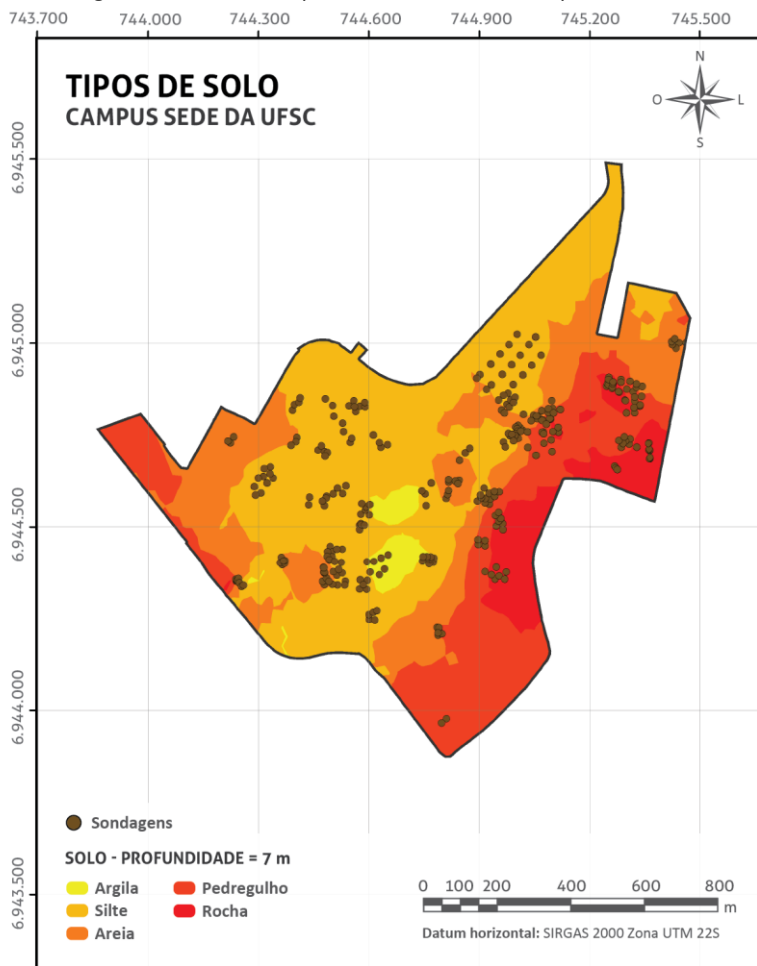
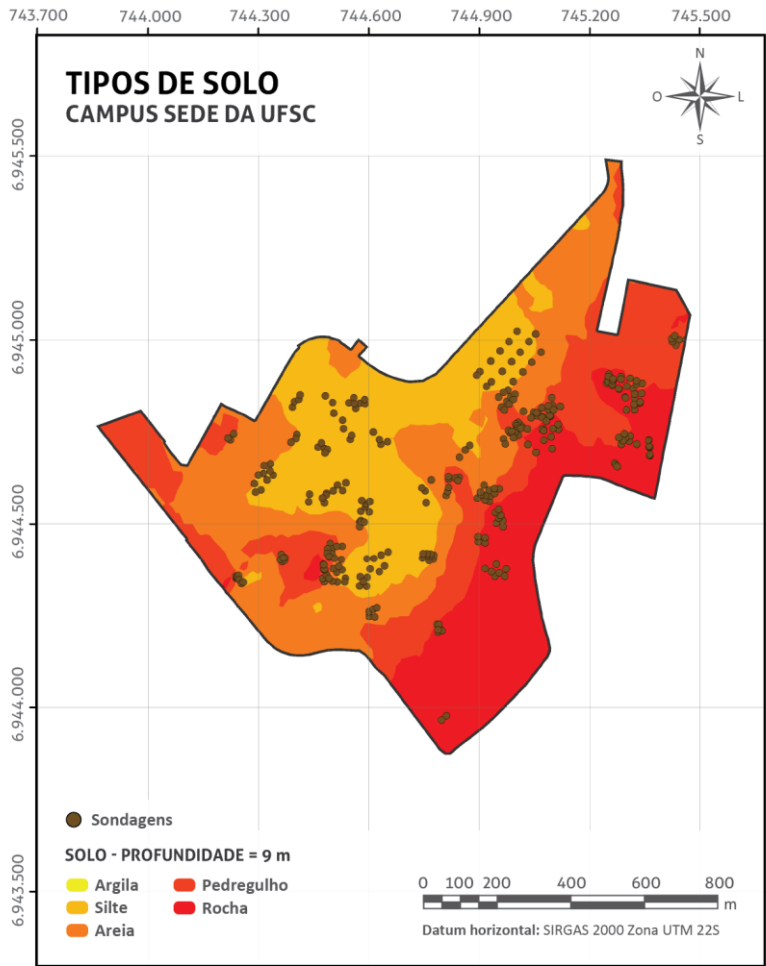


Figura 28 – Carta de tipos de solo: 7 metros de profundidade



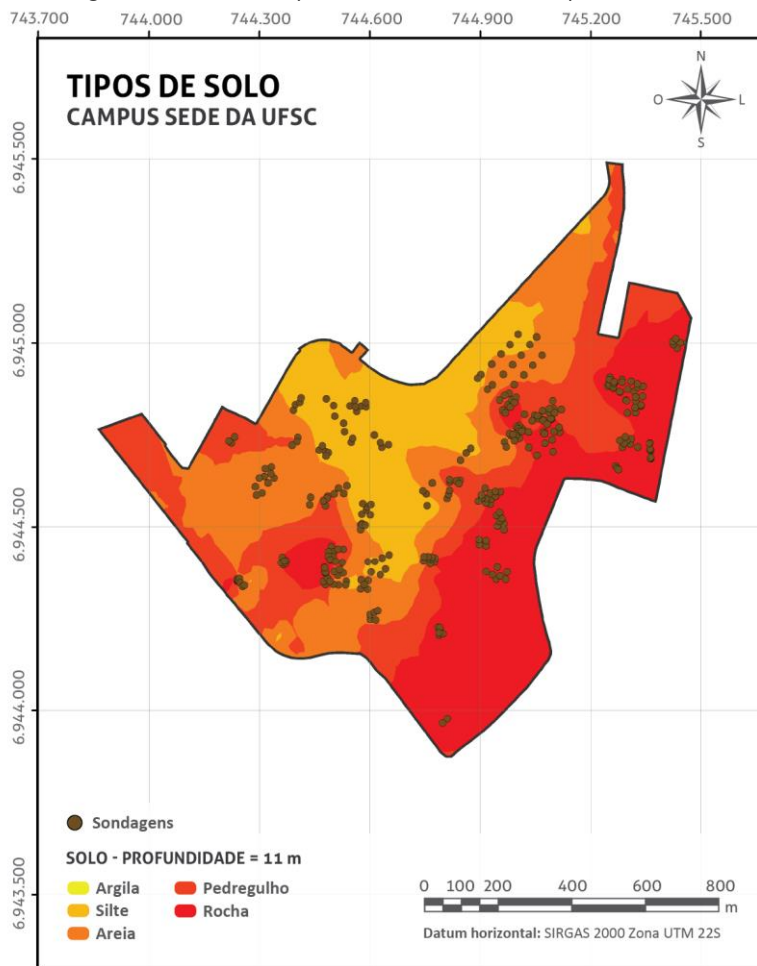
Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Figura 29 – Carta de tipos de solo: 9 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Figura 30 – Carta de tipos de solo: 11 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por meio da Figura 27, da Figura 28, da Figura 29 e da Figura 30, verifica-se que as zonas com solos de maior granulometria avançam das regiões sudoeste e oeste para a porção central do Campus, encontrando fragmentos ou substrato de rocha, primeiramente, nos locais de maiores altitudes. Tais regiões situam-se na unidade geotécnica Cambissolo depósitos de encostas, conforme mapeamento geotécnico elaborado por Santos (1997). Numericamente, por meio da Tabela 2 é possível

perceber, ao longo das profundidades analisadas, um acréscimo de área nas zonas com solos de granulometria mais grosseira.

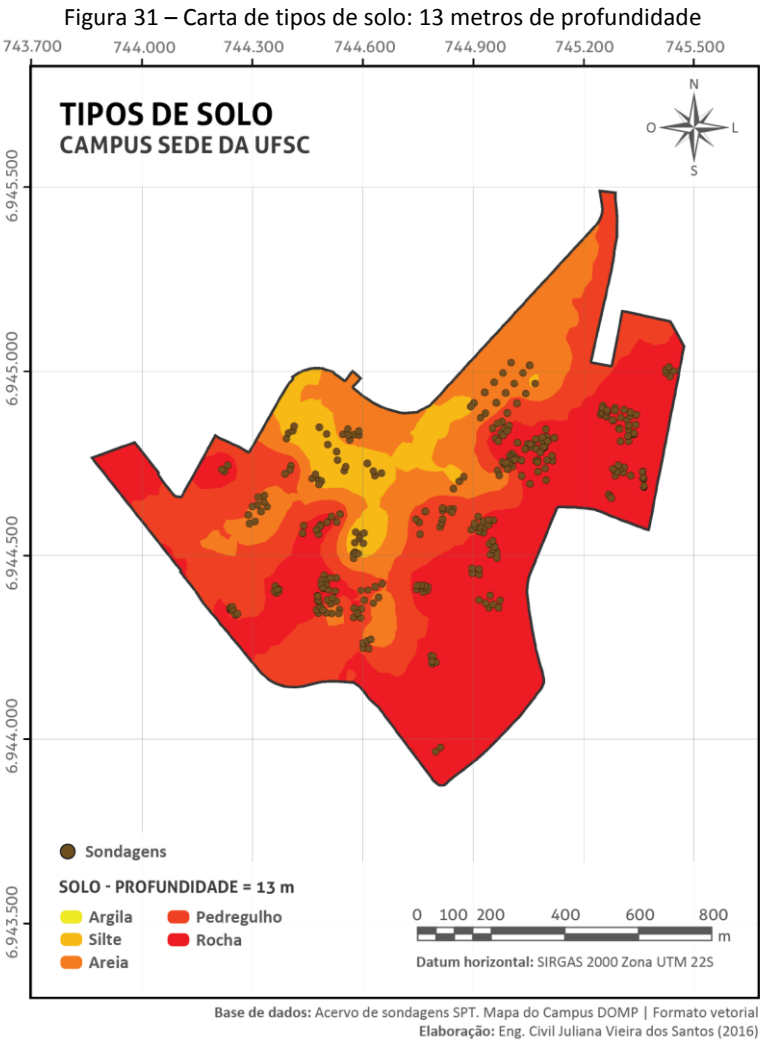
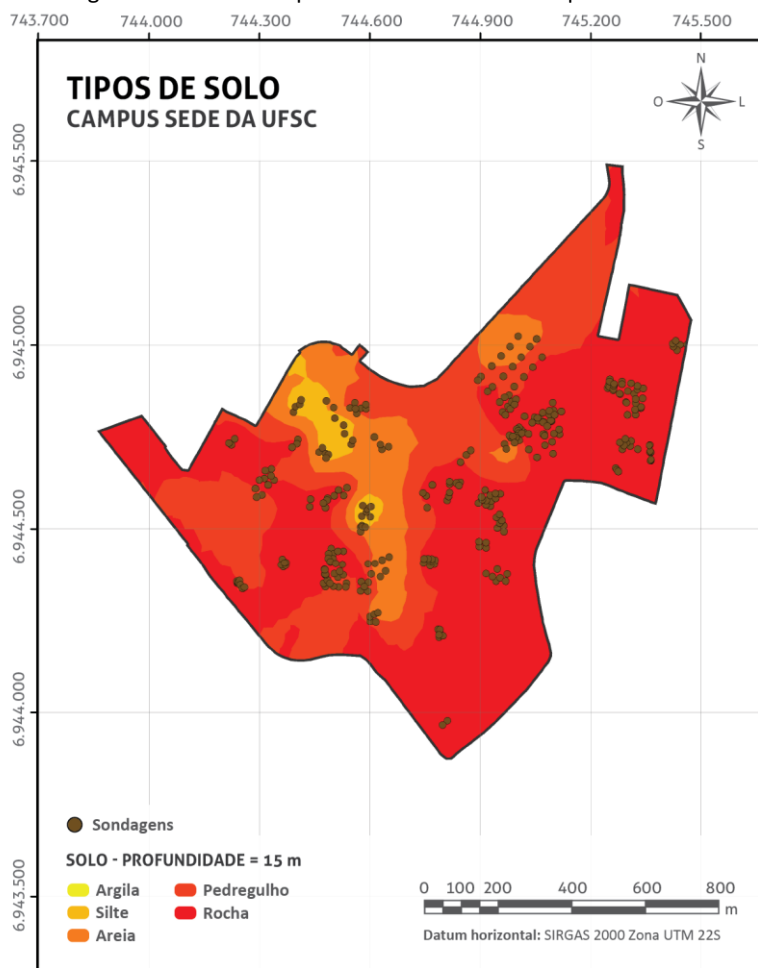
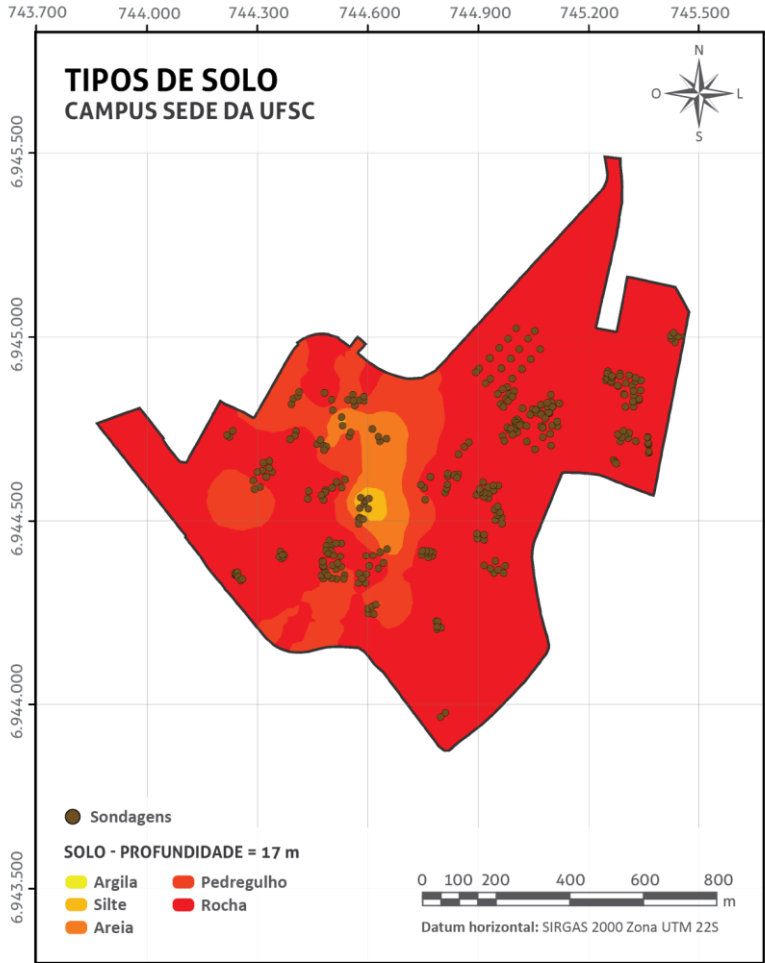


Figura 32 – Carta de tipos de solo: 15 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

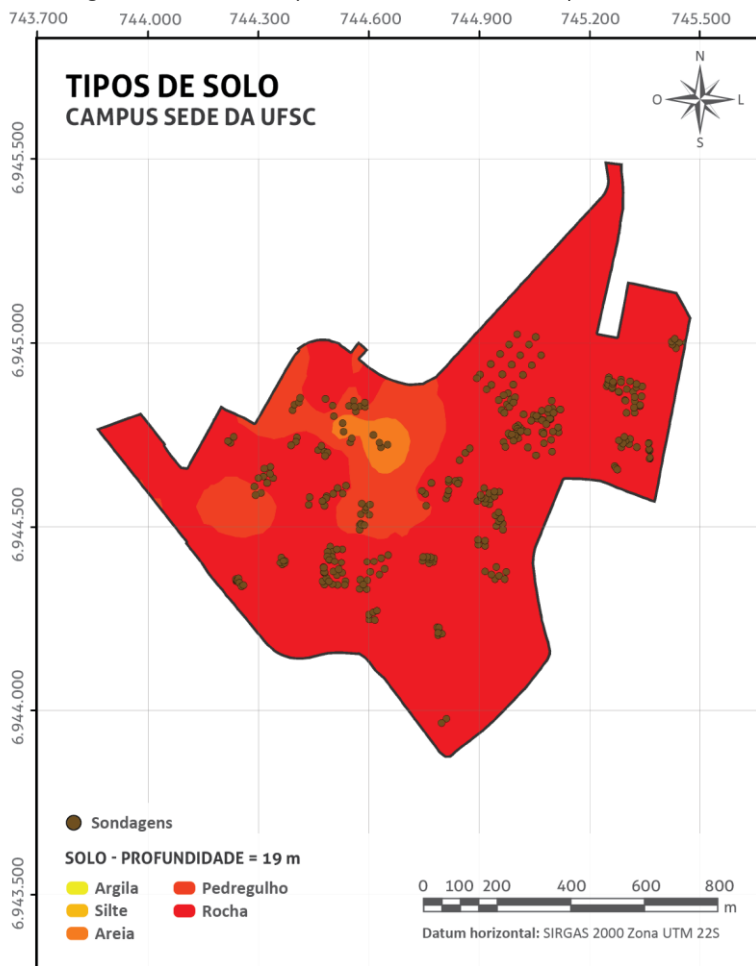
Figura 33 – Carta de tipos de solo: 17 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)



Figura 34 – Carta de tipos de solo: 19 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Ao analisar as cartas para 13 metros (Figura 31), 15 metros (Figura 32), 17 metros (Figura 33) e 19 metros (Figura 34) de profundidade, verifica-se que a última região a apresentar algum tipo de solo é a porção centro-norte do Campus, correspondente ao Centro Sócioeconômico (CSE) e ao Centro de Ciências Jurídicas (CCJ). Conforme a Tabela 2, os solos de granulometria mais fina, referentes às argilas e aos siltes, vão

reduzindo sua participação nas camadas mais profundas até o momento em que deixam de existir.

Seguindo o mesmo raciocínio, a medida em que a profundidade aumenta, cresce o percentual de área que atinge o substrato rochoso. Assim, como pode-se observar na Tabela 2, a 19 metros de profundidade aproximadamente 84% da área do Campus sede da UFSC possui subsolo composto de fragmentos ou substrato de rocha.

Tabela 2 – Porcentagem de área para cada tipo de solo nas profundidades analisadas

Tipo de solo	% de área				
	1 m	3 m	5 m	7 m	9 m
<b>Argila</b>	55,20%	38,90%	7,50%	1,10%	-
<b>Silte</b>	35,50%	51,70%	55,60%	38,00%	23,60%
<b>Areia</b>	9,30%	8,80%	18,20%	30,30%	33,40%
<b>Pedregulho</b>	-	0,60%	12,10%	17,00%	19,20%
<b>Rocha</b>	-	0,10%	6,60%	13,50%	23,90%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 25</b>	<b>Figura 26</b>	<b>Figura 27</b>	<b>Figura 28</b>	<b>Figura 29</b>

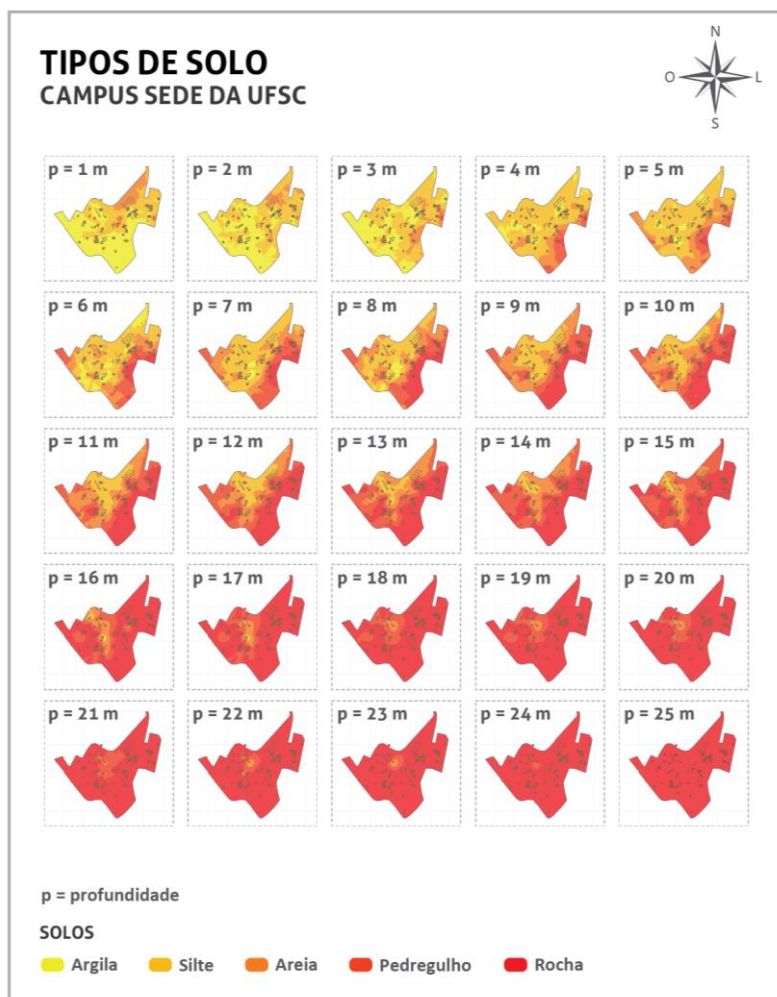
  

Tipo de solo	% de área				
	11 m	13 m	15 m	17 m	19 m
<b>Argila</b>	-	-	-	-	-
<b>Silte</b>	20,10%	12,10%	2,10%	0,30%	-
<b>Areia</b>	28,30%	22,30%	18,30%	1,70%	0,80%
<b>Pedregulho</b>	24,20%	24,70%	29,10%	18,00%	15,50%
<b>Rocha</b>	27,20%	40,90%	50,50%	80,00%	83,80%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 30</b>	<b>Figura 31</b>	<b>Figura 32</b>	<b>Figura 33</b>	<b>Figura 34</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Diante do exposto, verifica-se que uma efetivação de subsolo contendo fragmentos ou substrato rochoso começa a se iniciar a 17 metros (Figura 34) e segue até a 25 metros de profundidade, em que é completamente atingida, conforme pode-se verificar na Figura 35.

Figura 35 – Resultado das interpolações dos solos em cada profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

De forma geral, independentemente da profundidade analisada, verifica-se que o subsolo do Campus sede da UFSC apresenta um decréscimo de granulometria do solo de sudeste a noroeste. Quantitativamente, até a profundidade de 11 metros, tem-se 50% ou

mais de área coberta por solos do tipo argila, silte e areia, ao passo que, nas próximas camadas, há predomínio de pedregulho e rocha.

É importante destacar que as cartas apresentadas servem como diretrizes para se realizar uma estimativa prévia do solo que tende a ser encontrado em determinado local do Campus na profundidade desejada. No entanto, o estudo não substitui a necessidade de investigações geotécnicas pontuais, mas podem auxiliar na análise dos resultados de sondagens posteriormente contratadas, assim como no cálculo da movimentação de terra necessária em uma obra e na escolha das fundações.

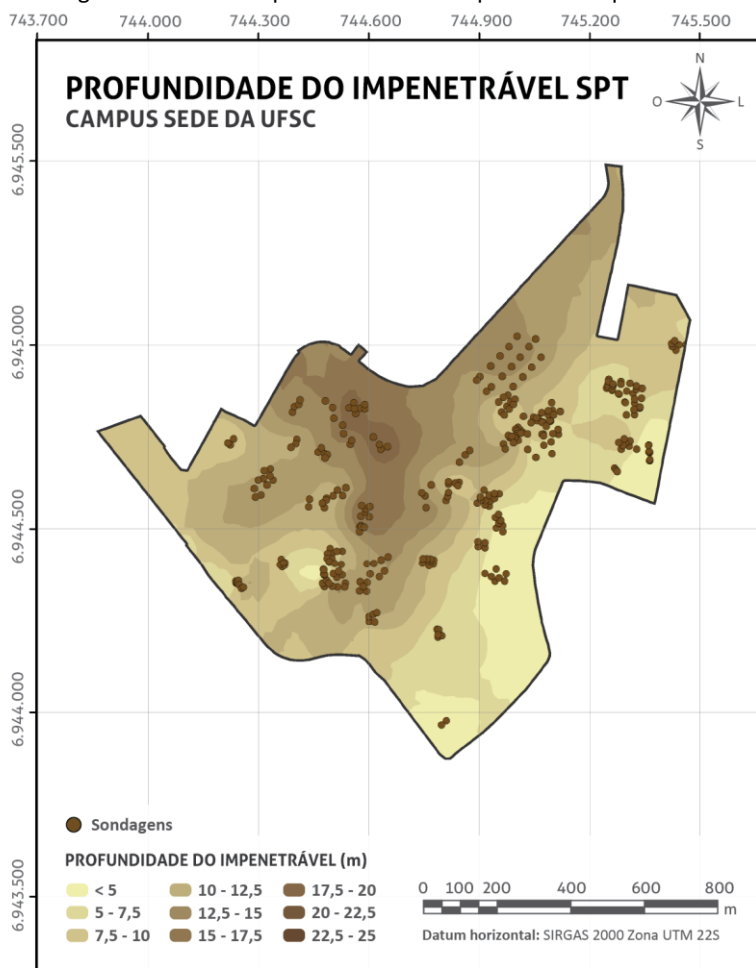
## 5.2 CARTAS DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÕES

As cartas de aptidão para fundações, desenvolvidas por meio do banco de dados geológico-geotécnico organizado em ambiente SIG, referem-se às cartas de superfície do impenetrável e do lençol freático, assim como às cartas de orientação quanto ao tipo de fundação, de isovalores de tensão admissível do solo para fundação superficial, de isovalores de  $N_{SPT}$  e de indicativo do comprimento máximo de estacas aplicadas ao Campus da UFSC. Nas seções seguintes, são apresentadas as cartas mencionadas e realizadas análises acerca do conhecimento transmitido por meio desses documentos.

### 5.2.1 Cartas de superfície do impenetrável a percussão

A superfície do impenetrável à percussão foi gerada aplicando-se a técnica de krigagem exclusivamente a partir dos dados das 327 sondagens selecionadas. Como um dos resultados, a Figura 36 apresenta a carta de profundidade do impenetrável à percussão para o Campus sede da UFSC.

Figura 36 – Carta de profundidade do impenetrável à percussão



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Verifica-se que as regiões mais claras se referem a impenetráveis mais superficiais, enquanto que os locais que apresentam coloração mais escura possuem maiores profundidades de impenetrável a percussão. Além disso, percebe-se que as zonas menos densas de sondagens (regiões mais próximas ao limite do Campus), apresentam o contorno para as faixas de profundidade do impenetrável mais suavizado, abrangendo maiores áreas.

Quantitativamente, por meio da Tabela 3, é possível observar que apenas 0,6% do Campus sede da UFSC apresenta profundidade de impenetrável maior que 20 metros, e, conforme evidenciado pela Figura 18, correspondem a regiões com baixa altitude. Os resultados também apontam que mais de 95% da área de estudo possui impenetrável com profundidade até 17,5 metros, sendo que variação entre os intervalos analisados é pequena em termos percentuais.

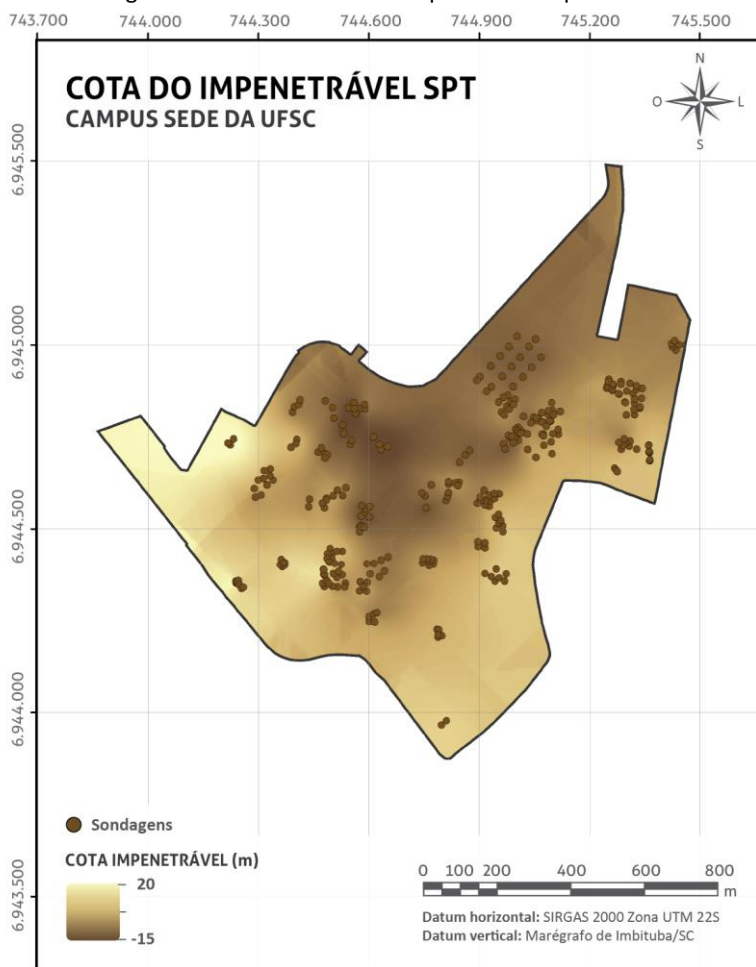
Tabela 3 – Frequência de área para a profundidade do impenetrável

<b>Profundidade do impenetrável (m)</b>	<b>% de área</b>
< 5	17,9%
5 - 7,5	15,8%
7,5 - 10	15,8%
10 - 12,5	15,1%
12,5 - 15	13,7%
15 - 17,5	17,0%
17,5 - 20	4,1%
20 - 22,5	0,6%
<b>Total</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 36</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

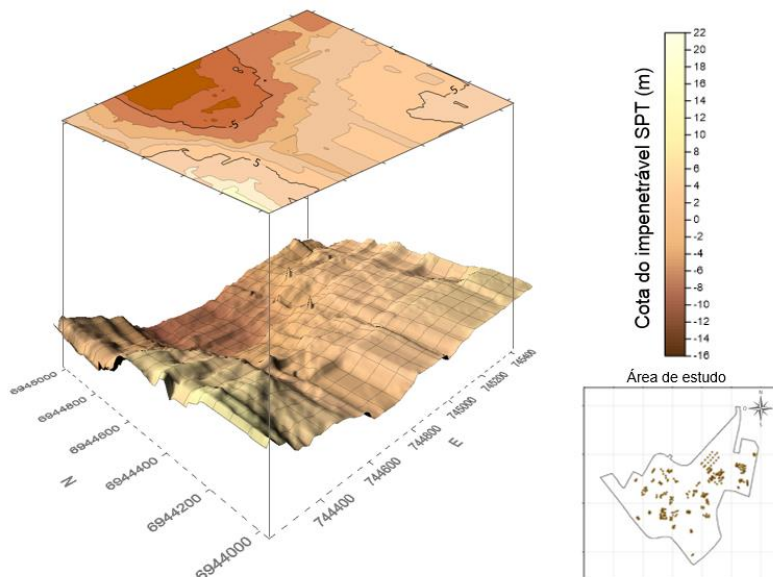
A Figura 37 apresenta a carta para a cota em que se encontra o impenetrável a percussão, tendo como nível de referência o marégrafo de Imbituba. Do mesmo modo, constata-se que a porção centro-norte possui as cotas de impenetrável inferiores, situadas abaixo do nível do mar.

Figura 37 – Carta de cota do impenetrável à percussão



De forma a contribuir para a análise visual, foi elaborado um Modelo Digital de Superfície (MDS) para o impenetrável a percussão (Figura 38), por meio das cotas dos pontos amostrados, permitindo a verificação em três dimensões do comportamento do subsolo do Campus sede da UFSC em termos de impenetrável SPT.

Figura 38 – Modelo digital de superfície do impenetrável a percussão



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Ao analisar a Figura 36 e a Figura 37 em consonância com o MDS (Figura 38), percebe-se que as regiões com impenetrável mais raso estão localizadas à oeste e sudeste do Campus sede da UFSC, locais onde se encontram, respectivamente, a Moradia Estudantil, assim como o Centro de Desportos (CDS), o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (ARQ), o Departamento de Engenharia Civil (ECV) e Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (EQA). Destaca-se também que nas zonas de maiores altitudes, como as citadas anteriormente, o impenetrável encontra-se mais próximo à superfície do terreno.

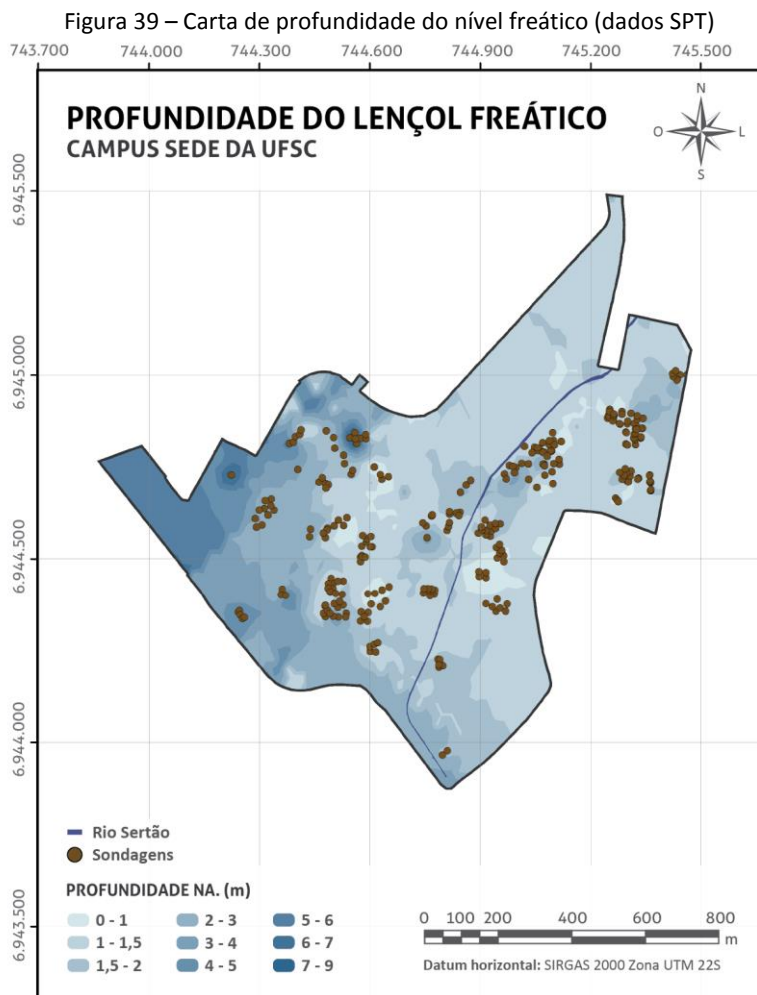
### 5.2.2 Cartas de superfície freática

Conforme detalhado na seção 4.3.4.2.2, as superfícies freáticas foram desenvolvidas em etapas, em que a primeira fez uso dos dados de nível d'água obtidos exclusivamente dos laudos de sondagens SPT e, a segunda, incorporou as informações do Rio Sertão nas análises. Posteriormente, tendo em vista que a sazonalidade das precipitações



pode influenciar nas profundidades de nível d'água obtidas nas investigações de campo, elaborou-se cartas de profundidade do lençol freático para o período seco e o período chuvoso.

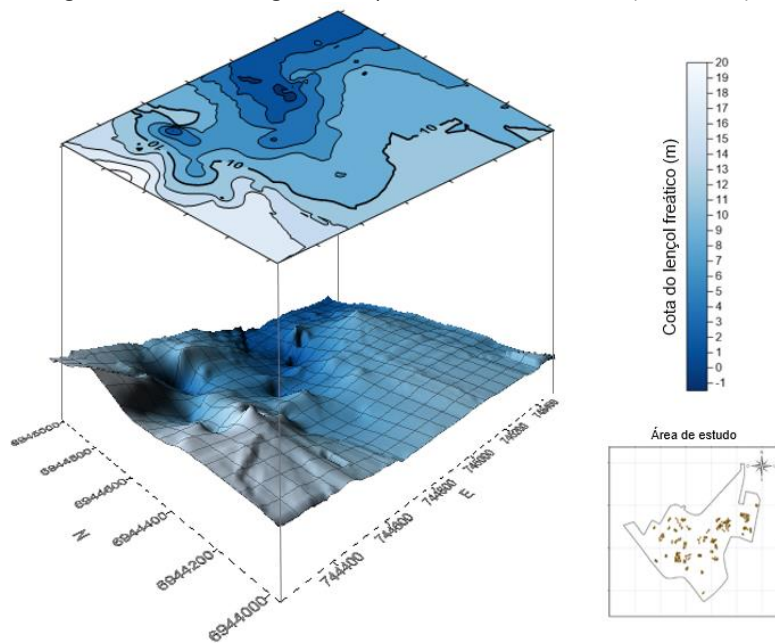
A Figura 39 apresenta a superfície freática resultante da primeira análise (dados oriundos apenas dos boletins de sondagens) e a Figura 40 mostra o MDS gerado para representar tridimensionalmente os resultados obtidos para essa análise, em termos de cota.



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Ao analisar a Figura 39, verifica-se que o nível freático se encontra mais próximo à superfície nas regiões mais claras, as quais tendem a situar-se próximas ao Rio Sertão, representando a porção leste do Campus sede da UFSC. Ademais, é possível perceber mais uma vez que as zonas menos densas de sondagens (regiões mais próximas ao limite do Campus), apresentam um contorno mais suave para as faixas de profundidade do NA, enquanto que os locais com maior número de dados observados possuem curvas mais detalhadas.

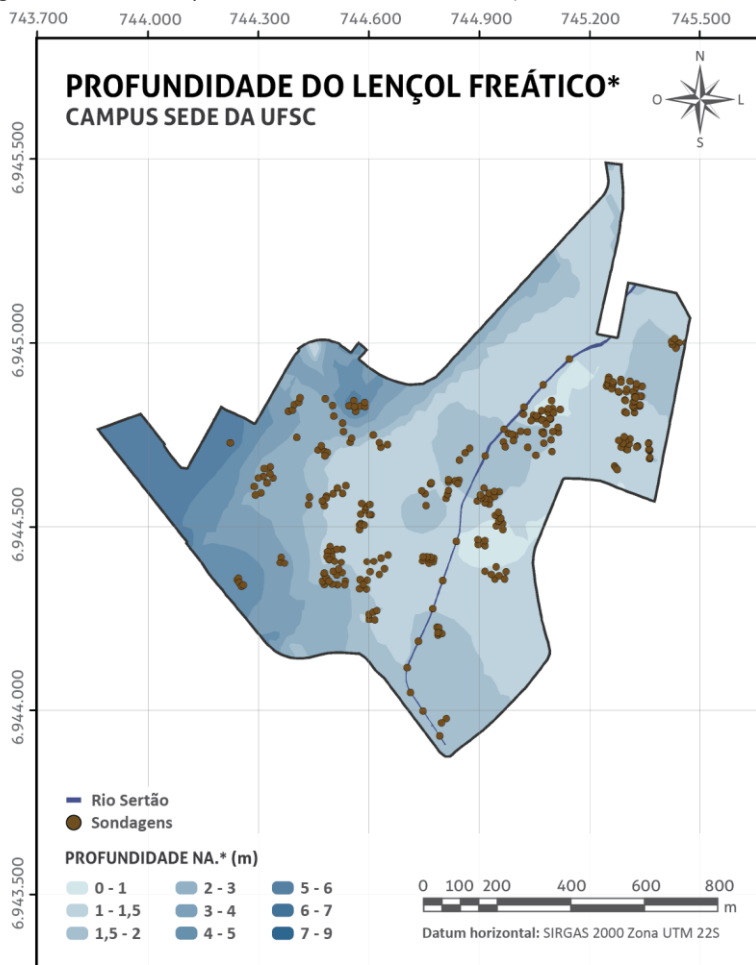
Figura 40 – Modelo digital de superfície do nível freático (dados SPT)



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Na Figura 40 pode-se verificar a superfície freática considerando as cotas dos pontos de sondagem utilizados nessa análise, com destaque para a formação da calha do Rio Sertão, situada nas cotas mais baixas. Nesse contexto, a Figura 41 apresenta a carta de profundidade do nível d'água incorporando informações do Rio Sertão ao banco de dados e seu MDS, com consequente detalhamento da calha do rio, pode ser conferido na Figura 42.

Figura 41 – Carta de profundidade do nível freático (dados SPT e do Rio Sertão)

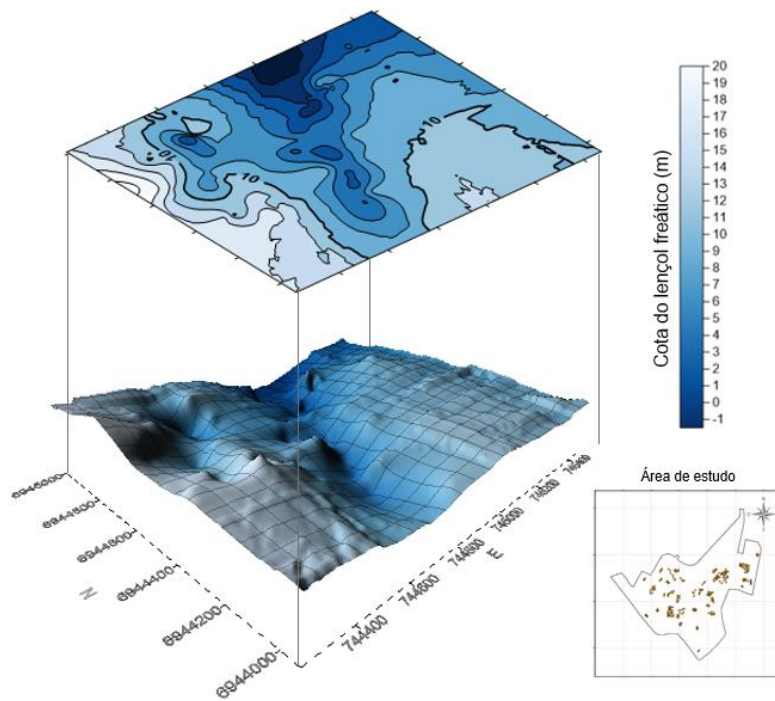


\*Considerando, além dos dados SPT, os de hidrografia do Rio Sertão  
Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Para a carta de profundidade da superfície freática com a incorporação do Rio Sertão (Figura 41), as zonas menos densas de sondagens continuam apresentando faixas de profundidade do NA mais suavizadas e na mesma ordem de grandeza da situação anterior. Entretanto, no entorno do rio, a profundidade do NA encontra-se mais homogênea e uniforme, além de a carta como um todo apresentar

contornos melhor definidos. Além disso, evidenciou a porção leste do Campus como a região que possui nível d'água mais próximo à superfície em relação às demais áreas.

Figura 42 – Modelo digital de superfície do nível freático (dados SPT e do Rio Sertão)



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Em termos quantitativos, elaborou-se a Tabela 4 com a porcentagem de área que se enquadrou em cada uma das faixas de profundidade do lençol freático para as duas situações simuladas.

Tabela 4 – Frequência de área para a profundidade do lençol freático

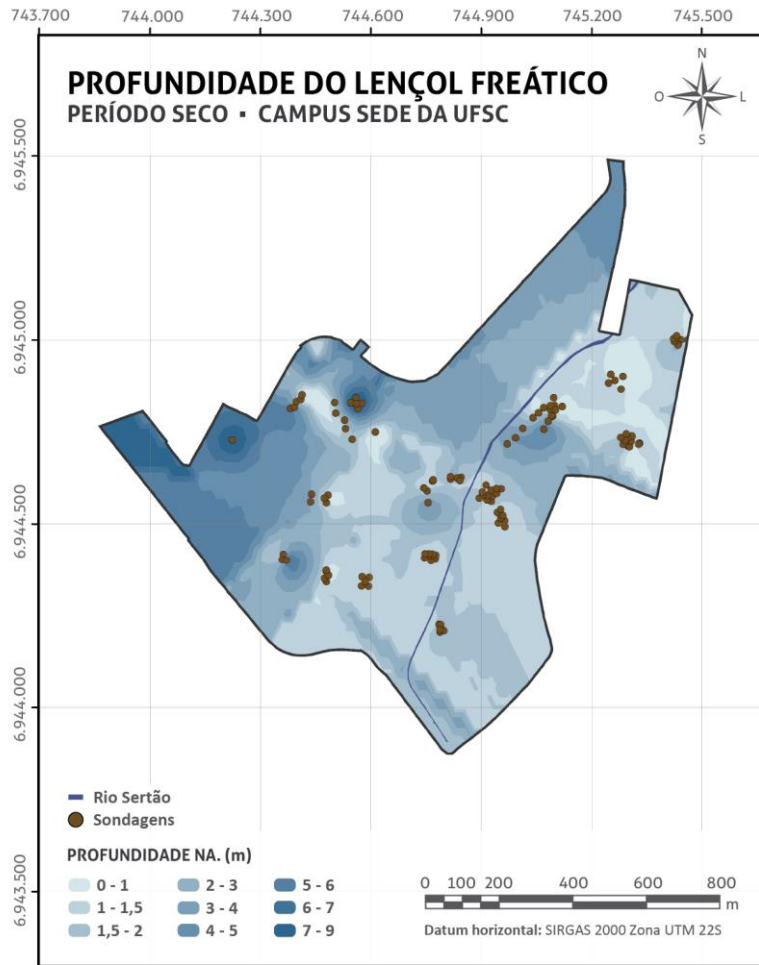
% de área		
Profundidade do NA (m)	Situação 1 (dados SPT)	Situação 2 (dados SPT e do Rio Sertão)
0 - 1	3,1%	2,9%
1 - 1,5	43,0%	35,2%
1,5 - 2	12,3%	16,5%
2 - 3	12,6%	13,2%
3 - 4	12,4%	11,7%
4 - 5	8,5%	12,6%
5 - 6	6,0%	7,3%
6 - 7	2,0%	0,5%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 39</b>	<b>Figura 41</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

A partir da Tabela 4 tem-se, para as duas situações, cerca de 70% da área do Campus sede da UFSC com lençol freático localizado até 3 metros de profundidade e, aproximadamente, 92% até 5 metros de profundidade, mostrando que a região possui nível d'água próximo à superfície. Entre as duas análises, quantitativamente, é possível perceber uma pequena redistribuição das áreas com menor profundidade de NA para a Situação 2, reduzindo áreas com NA mais aflorado.

Por fim, mediante a análise de sazonalidade para a área de estudo, elaborou-se as cartas de profundidade da superfície freática no período seco (Figura 43), correspondente aos meses de abril a setembro, e no período chuvoso (Figura 45), referente aos meses de outubro a março. Para cada uma delas, também foi desenvolvido um MDS para representar a superfície freática de forma tridimensional, em relação às cotas dos dados observados, os quais podem ser conferidos, respectivamente, na Figura 44 e na Figura 46.

Figura 43 – Carta de profundidade do nível freático (dados SPT): período seco

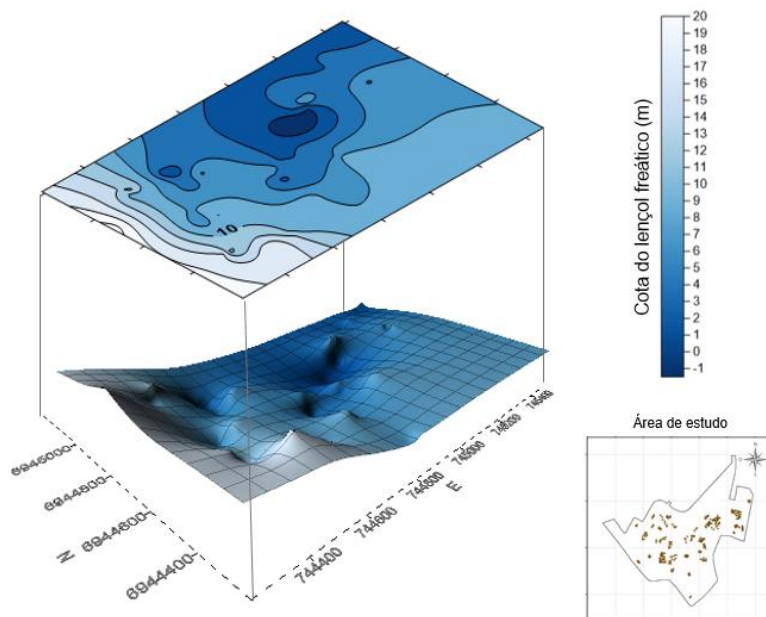


Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Ao analisar a carta elaborada para os pontos cujas sondagens foram realizadas entre os meses de abril a setembro, verifica-se um expressivo aumento da profundidade em que o nível d'água é encontrado, refletindo a influência da sazonalidade na variação da superfície do lençol freático. Em termos numéricos, conforme pode-se observar na Tabela 5, 43% da área do Campus sede da UFSC apresenta nível d'água em profundidades de até 2 metros, enquanto que, nas

situações anteriores, tal percentual foi de, respectivamente, 58% e 55%. Ademais, o percentual de área que apresenta superfície freática em camadas inferiores a 5 metros cresce cerca de 100%, passando de 8% para 16%.

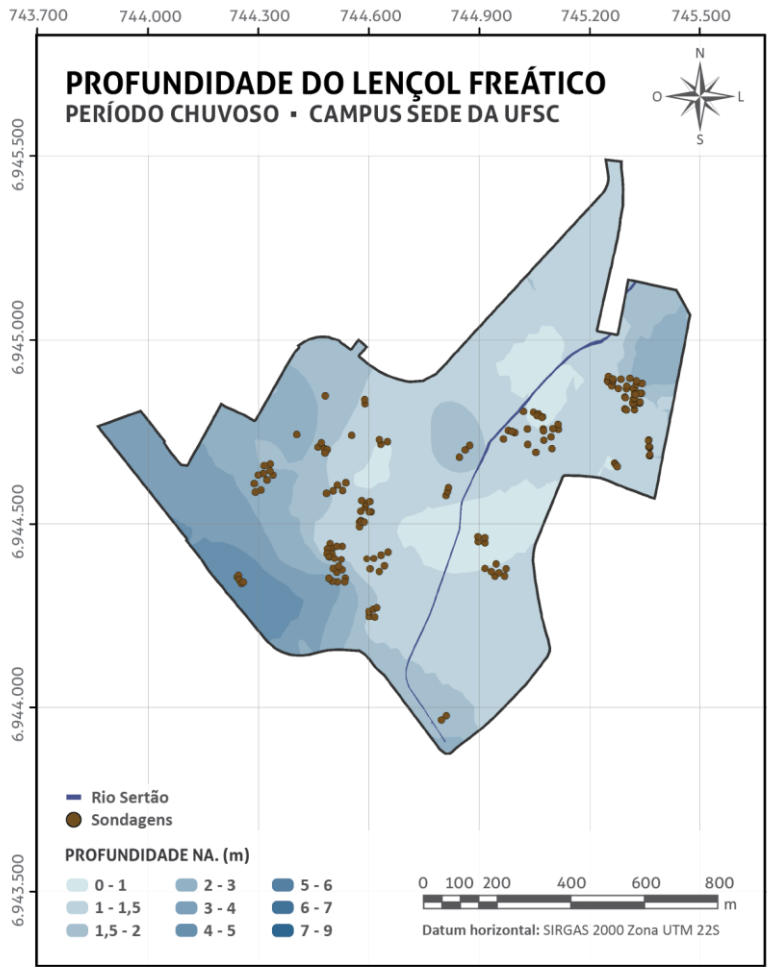
Figura 44 – Modelo digital de superfície do nível freático: período seco



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Em função do número de pontos selecionados para a elaboração do modelo digital de superfície do nível d'água no período seco ser, aproximadamente, a metade do conjunto utilizado no desenvolvimento dos modelos genéricos para a superfície freática (Figura 40 e Figura 42), o grau de detalhamento do MDS é reduzido. No entanto, por meio da escala de cores é possível perceber que o comportamento dos modelos tende a ser o mesmo em ambos os casos, com coincidência das zonas de maiores e menores cotas, embora os valores absolutos variem em função da análise de sazonalidade.

Figura 45 – Carta de profundidade do nível freático (dados SPT): período chuvoso



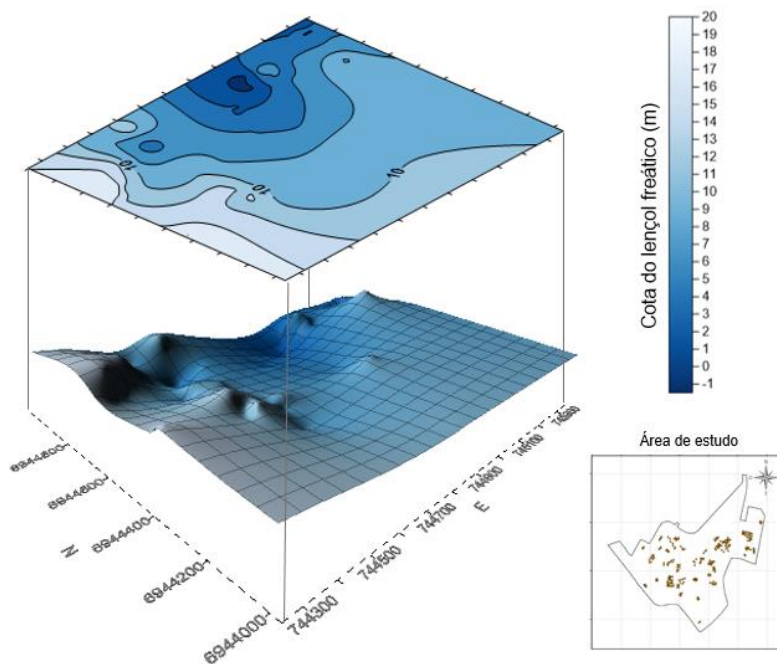
Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por meio da carta elaborada para os pontos inerentes às sondagens realizadas entre os meses de outubro a março, observa-se uma redução da profundidade da superfície freática, com níveis d'água mais aflorados (regiões mais claras), em função do período de chuvas. Quantitativamente, de acordo com a Tabela 5, 71% da área do Campus sede da UFSC apresenta lençol freático até 2 metros de profundidade,



representando um crescimento de, aproximadamente, 25% em relação às cartas expostas na Figura 39 e na Figura 41, bem como de 65% quando comparado à carta resultante da análise do período seco.

Figura 46 – Modelo digital de superfície do nível freático: período chuvoso



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Assim como o MDS gerado para os pontos referentes ao período seco (Figura 44), o nível de detalhamento do modelo desenvolvido para o período chuvoso é menor se comparado ao elaborado com um universo maior de dados, como as superfícies apresentadas na Figura 40 e na Figura 42. Todavia, do mesmo modo, mediante a escala de cores, verifica-se que o comportamento dos modelos é semelhante entre si, com coincidência das zonas de maiores e menores cotas, embora os valores absolutos variem em função da análise de sazonalidade.

De maneira geral, embora a tendência das cartas desenvolvidas para os períodos sazonais (Figura 43 e Figura 45) seja a mesma apresentada nas cartas da Figura 39 e da Figura 41, ao analisar os resultados considerando as diferentes épocas do ano, percebe-se

claramente uma diferença, uma vez que o período chuvoso apresenta níveis d'água mais rasos do que as profundidades registradas nos meses mais seco. De tal modo, a Tabela 5 apresenta, de forma quantitativa, a comparação dos percentuais de área em cada intervalo para ambas as situações.

Tabela 5 – Frequência de área para a profundidade do lençol freático: período seco e período chuvoso

<b>% de área</b>		
<b>Profundidade do NA (m)</b>	<b>Período seco</b>	<b>Período chuvoso</b>
0 - 1	6,6%	6,9%
1 - 1,5	25,0%	44,6%
1,5 - 2	11,4%	19,3%
2 - 3	16,9%	11,4%
3 - 4	11,4%	9,4%
4 - 5	12,3%	7,1%
5 - 6	13,5%	1,2%
6 - 7	1,6%	-
7 - 9	1,3%	-
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 43</b>	<b>Figura 45</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

A análise quantitativa das áreas contempladas por cada classe de profundidade corrobora a verificação visual, visto que houve uma redistribuição das áreas entre os intervalos, aumentando as áreas com NA mais aflorado no período chuvoso: acréscimo de, aproximadamente, 80% da área com  $1 \leq NA < 1,5$  m e 73% da área com  $1,5 \text{ m} \leq NA < 2$  m. Em contrapartida, as situações mais favoráveis em termos de fundação (NA mais profundo,  $5 \leq NA < 9$ ) reduziram sua participação, com frequência total de 16,4% para o período seco frente a 1,2% para modelagem da do período chuvoso.

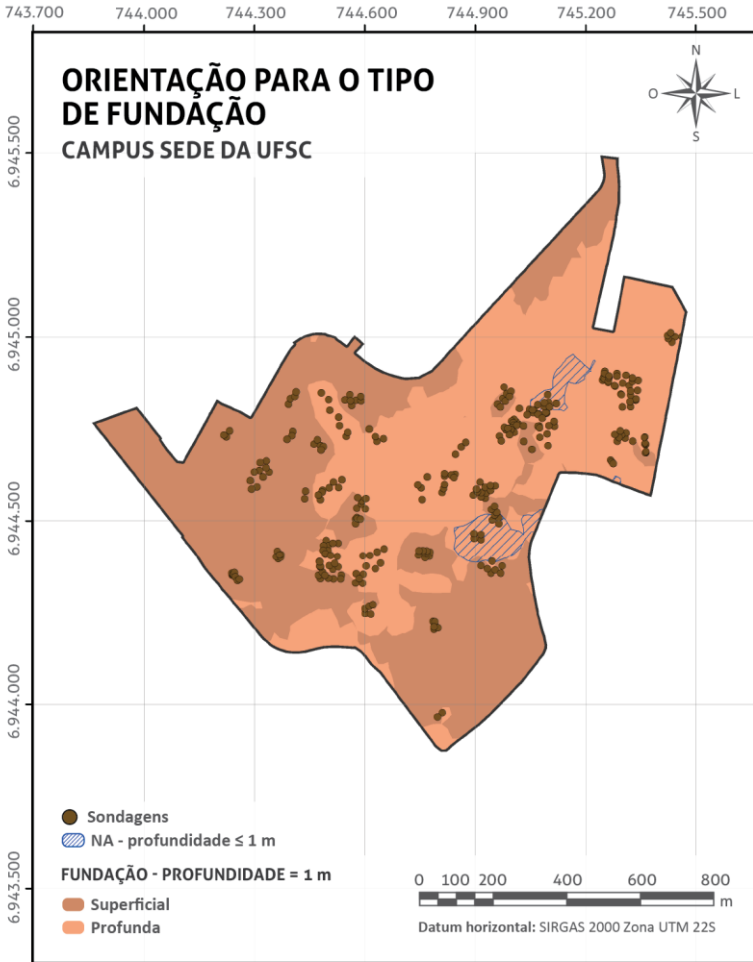
### 5.2.3 Cartas de orientação para fundações: superficiais ou profundas

As cartas de orientação para o tipo de fundação foram desenvolvidas para 1 metro (Figura 47) e 2 metros de profundidade

(Figura 48), uma vez que a viabilidade econômica das fundações superficiais se apresenta até o segundo metro de profundidade (REBELLO, 2011), razão pela qual em camadas inferiores comumente são executadas fundações profundas.

Conforme explanado na seção 4.3.4.2.3, para as duas profundidades analisadas também foram inseridas informações acerca da presença de água, ponderando a contribuição do Rio Sertão, tendo em vista que a presença de lençol freático pode direcionar a tomada de decisão quanto ao tipo de fundação a ser adotada. Ademais, as cartas apresentadas no presente item têm aplicação específica de acordo com a demonstração realizada no item 4.3.4.2.3.

Figura 47 – Carta de orientação para fundação: 1 metro de profundidade

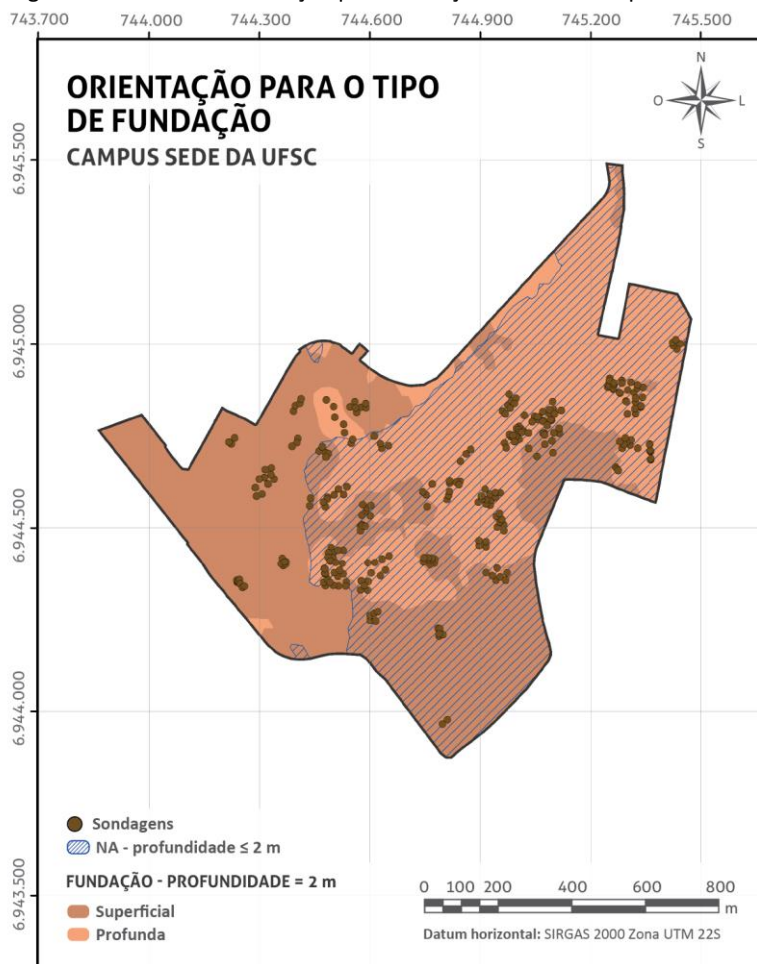


Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

A carta de orientação quanto ao tipo de fundação para o primeiro metro de profundidade divide o Campus sede da UFSC em três grandes regiões, a área que o atravessa no sentido sudoeste-nordeste, passando pela parte central, orientada para fundação superficial (tonalidade mais escura), e as zonas a oeste e a sudeste, que demonstraram, em sua grande maioria, aptidão para fundação profunda (coloração mais clara).

Por meio da Tabela 6, percebe-se que, a 1 metro de profundidade, 59,9% da área do Campus sede da UFSC foi orientada para fundação superficial, enquanto 40,1% para fundação profunda. Além disso, na camada analisada, o lençol freático não é atingido na maior parte do Campus, visto que os resultados indicam a presença de água em cerca de 3% da área de estudo, conforme exposto na Tabela 4.

Figura 48 – Carta de orientação para fundação: 2 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

A Figura 48 apresenta a carta para orientação quanto a utilização de fundações superficiais e profundas com zonas semelhantes à carta da Figura 47, com um pequeno aumento da área indicada à aplicação da primeira (63,2%) e uma leve redução da área destinada à segunda (36,8%). No entanto, a presença do lençol freático mostra-se mais representativa para a profundidade de 2 metros, sendo encontrado principalmente na porção leste da área de estudo, local em que se situa o Rio Sertão. A área coberta por água, no segundo metro de profundidade, abrange 55% da área do Campus sede da UFSC (Tabela 4).

De um modo geral, ao verificar os resultados obtidos para as profundidades analisadas, nota-se que a orientação para utilização de fundações superficiais se deu nas regiões em que há presença de solos residuais, os quais estão situados em locais de maiores altitudes face as demais zonas analisadas, principalmente em áreas de pé de encosta, e possuem resistência mais elevada quando comparados aos solos sedimentares.

Tabela 6 – Frequência de área para o tipo de fundação

<b>Orientação para fundação</b>	<b>% de área</b>	
	<b>Profundidade = 1 m</b>	<b>Profundidade = 2 m</b>
Profunda	40,1%	36,8%
Superficial	59,9%	63,2%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 47</b>	<b>Figura 48</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Em termos numéricos, mediante análise da Tabela 7, é possível perceber que houve um sensível crescimento na orientação para fundações superficiais com o aumento da profundidade, passando de 59,91% na profundidade de 1 metro para 63,2% na profundidade de 2 metros. Tal fato pode ser explicado em função de o método considerar os valores de  $N_{SPT}$  como parâmetro de definição para execução de fundações superficiais ou profundas.

Por fim, é importante mencionar que, apesar da especificidade de aplicação das cartas apresentadas, com a utilização do banco de dados geológico-geotécnico desenvolvidos no âmbito desse trabalho, é

possível a elaboração de novos cenários considerando outros parâmetros para definição do tipo de fundação.

#### 5.2.4 Cartas de isovalores de tensão admissível

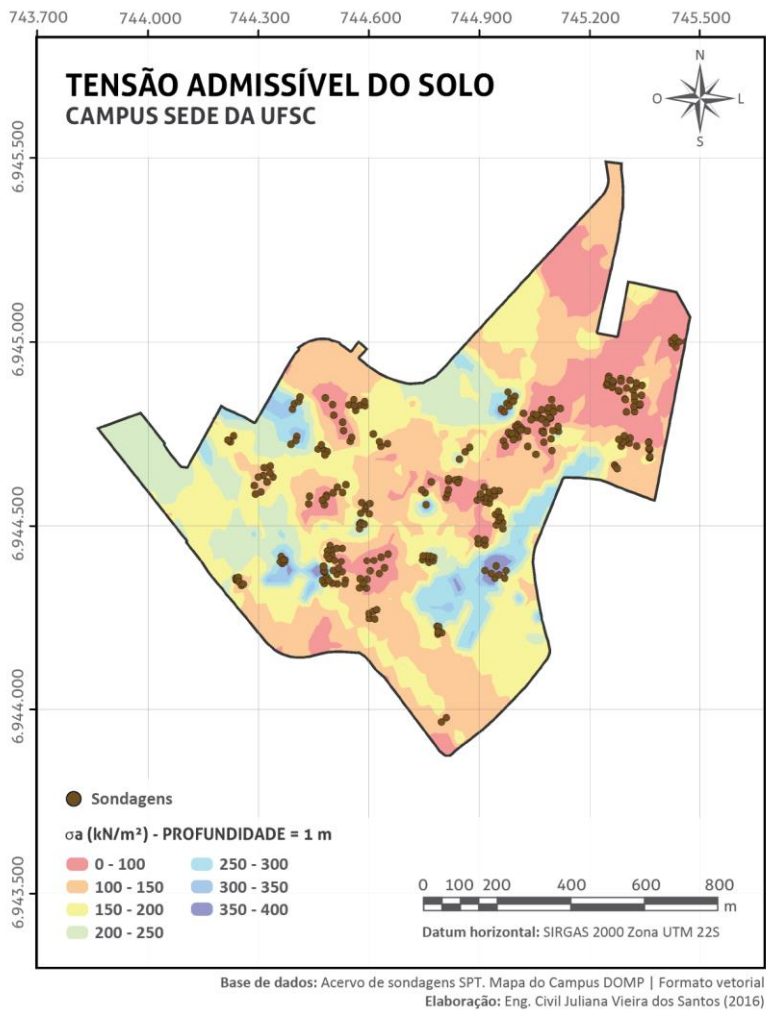
Conforme exposto na seção 4.3.4.2.4, as cartas de isovalores de tensão admissível do solo foram desenvolvidas para as profundidades em que há viabilidade econômica para execução de fundação superficial, haja vista a validade da equação pela qual os resultados foram gerados. Dessa forma, as cartas foram elaboradas para 1 metro (Figura 49) e 2 metros de profundidade (Figura 50) – em função do critério defendido por Rebello (2011) –, bem como para 3 metros (Figura 51) e 4 metros (Figura 52) de profundidade, a fim de considerar, além das profundidades de assentamento da fundação direta, a tensão admissível no bulbo de tensões.

Acerca dessas cartas, é importante mencionar que as regiões destacadas em rosa, onde a tensão admissível ( $\sigma_a$ ) é menor do que  $100 \text{ kN/m}^2$ , correspondem a zonas em que o  $N_{\text{SPT}}$  é inferior a 5 e, portanto, não pertencem ao domínio de aplicação da Equação (1). Assim, tais regiões não têm validade nas cartas apresentadas. Ademais, para atender ao limite superior da referida equação, os pontos de sondagem com  $N_{\text{SPT}}$  superiores a 20 foram consideradas na faixa de tensão admissível mais elevada, prezando pela segurança.

Destaca-se que o cálculo da tensão admissível foi realizado para cada profundidade analisada e não pela média dos  $N_{\text{SPT}}$  no bulbo de tensões, segundo indica a Equação (1), em decorrência da flexibilidade na utilização das cartas desenvolvidas, de forma a evitar a restrição de sua aplicação para uma determinada geometria de sapata. Nesse caso, os valores médios para o bulbo de tensões podem ser obtidos pela simples média das tensões admissíveis nas profundidades que o compõem.

Do mesmo modo que nas análises anteriores, as porcentagens de área por faixa de valor de tensão admissível podem ser verificadas, quantitativamente, após apresentação das cartas, na Tabela 7.

Figura 49 – Carta de isovalores de tensão admissível: 1 metro de profundidade

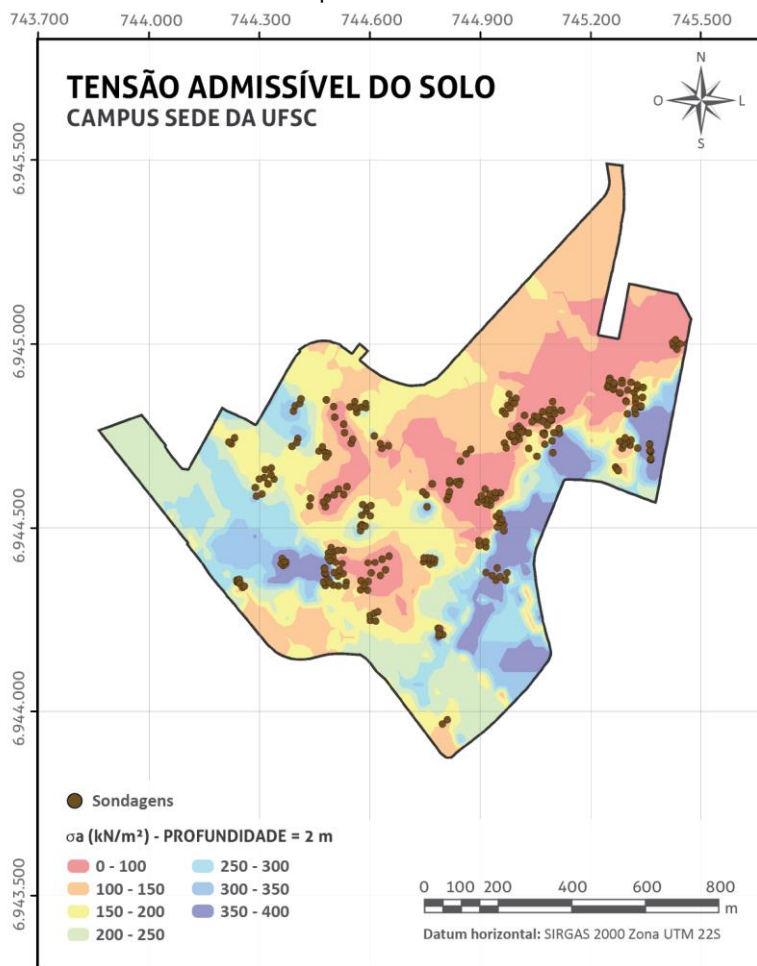


Ao analisar a carta para 1 metro de profundidade (Figura 49), é possível perceber regiões com maiores tensões admissíveis a oeste do Campus sede da UFSC e algumas em sua porção sudeste. Por outro lado, as porções nordeste e central apresentam regiões com menores tensões admissíveis do solo. Conforme a Tabela 7, na profundidade de 1 metro, 92,6% da área do Campus sede da UFSC apresenta tensão admissível



inferior a  $250 \text{ kN/m}^2$  e a faixa de  $150$  a  $200 \text{ kN/m}^2$  foi a que concentrou o maior percentual de área, com  $32,8\%$  do total.

Figura 50 – Carta de isovalores de tensão admissível: 2 metros de profundidade

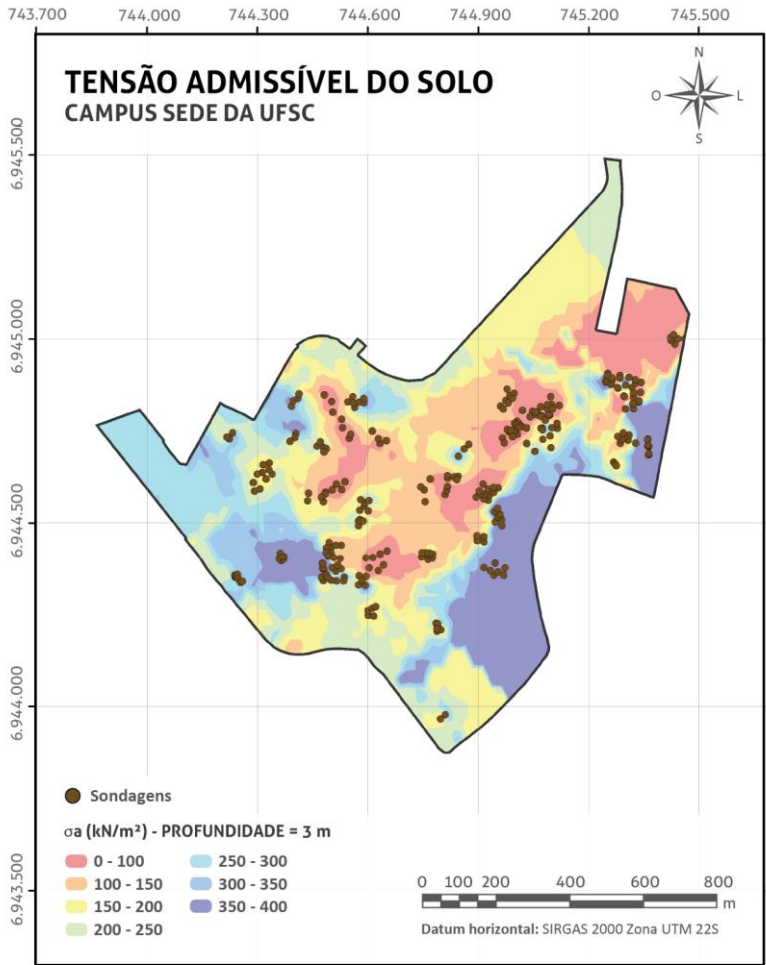


Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por meio da carta apresentada na Figura 50, verifica-se que o comportamento das regiões do Campus sede da UFSC a 2 metros de profundidade se mantém semelhante ao apresentado anteriormente,

com maiores tensões admissíveis do solo nas zonas oeste e sudeste, assim como menores valores nas zonas situadas na porção nordeste e central. No entanto, houve um aumento das áreas com maiores faixas de tensão admissível. Para o segundo metro de profundidade, a Tabela 7 indica que 78,5% da área de estudo apresenta tensão admissível inferior a 250 kN/m<sup>2</sup>.

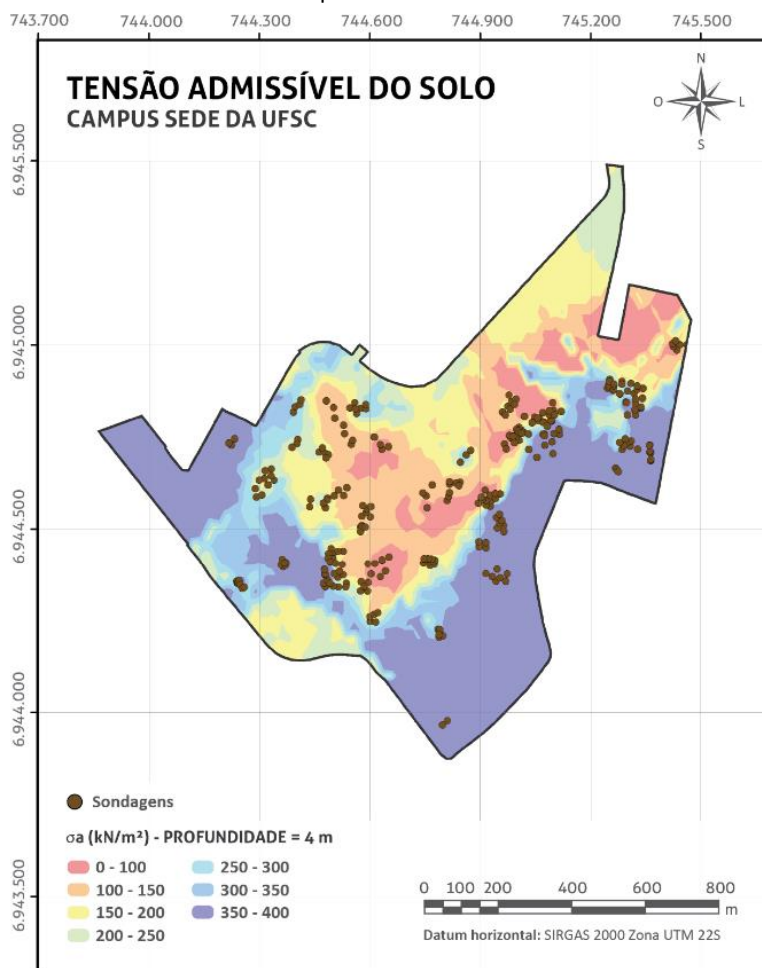
Figura 51 – Carta de isovalores de tensão admissível: 3 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

A carta apresentada para a profundidade de 3 metros (Figura 51) expõe, de maneira visual, um crescimento de regiões com tensões admissíveis do solo mais elevadas, mantendo-se, especialmente, a ampliação das zonas localizadas a oeste e a sudeste do Campus sede da UFSC. Em termos numéricos, a Tabela 7 apresenta um aumento de aproximadamente 216% na frequência de área compreendida na faixa de tensão admissível entre 350 a 400 kN/m<sup>2</sup>, bem como um decréscimo de cerca de 58% para a faixa entre 100 a 150 kN/m<sup>2</sup>, em relação às mesmas faixas na profundidade de 2 metros.

Figura 52 – Carta de isovalores de tensão admissível: 4 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Para a profundidade de 4 metros, o solo do Campus sede da UFSC dispõe de zonas com tensões admissíveis elevadas, visto que há uma propagação de áreas com coloração azul e roxa, as quais continuam predominando nas regiões oeste e sudeste. Essas regiões coincidem com as que foram orientadas à execução de fundações superficiais até dois metros de profundidade (Figura 47 e Figura 48), assim como,

correspondem a áreas com impenetráveis mais rasos, se comparada à carta de profundidade do impenetrável à percussão (Figura 36). Conforme demonstra a Tabela 7, na profundidade de 4 metros houve um ganho ainda maior de tensão admissível em relação às camadas inferiores, em que mais da metade da área de estudo já possui solo com tensões admissíveis superiores a 250 kN/m<sup>2</sup>.

Tabela 7 – Frequência de área para as faixas de tensão admissível

<b><math>\sigma_a</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>% de área</b>			
	<b>1 m</b>	<b>2 m</b>	<b>3 m</b>	<b>4 m</b>
0 - 100	15,3%	9,3%	8,1%	5,7%
100 - 150	29,0%	29,5%	12,2%	13,6%
150 - 200	32,8%	19,5%	21,0%	15,5%
200 - 250	15,5%	20,3%	22,3%	13,1%
250 - 300	6,4%	10,9%	13,6%	6,4%
300 - 350	0,8%	5,1%	5,5%	5,0%
350 - 400	0,3%	5,5%	17,3%	40,7%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 49</b>	<b>Figura 50</b>	<b>Figura 51</b>	<b>Figura 52</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Diante do exposto, verificou-se uma tendência de aumento das tensões suportadas pelo solo do Campus sede da UFSC ao longo das profundidades, que se inicia nas regiões oeste e sudeste e se alastra sentido centro-norte, de modo que as zonas central e norte da área de estudo são as que apresentam, nas quatro camadas analisadas, baixas tensões admissíveis.

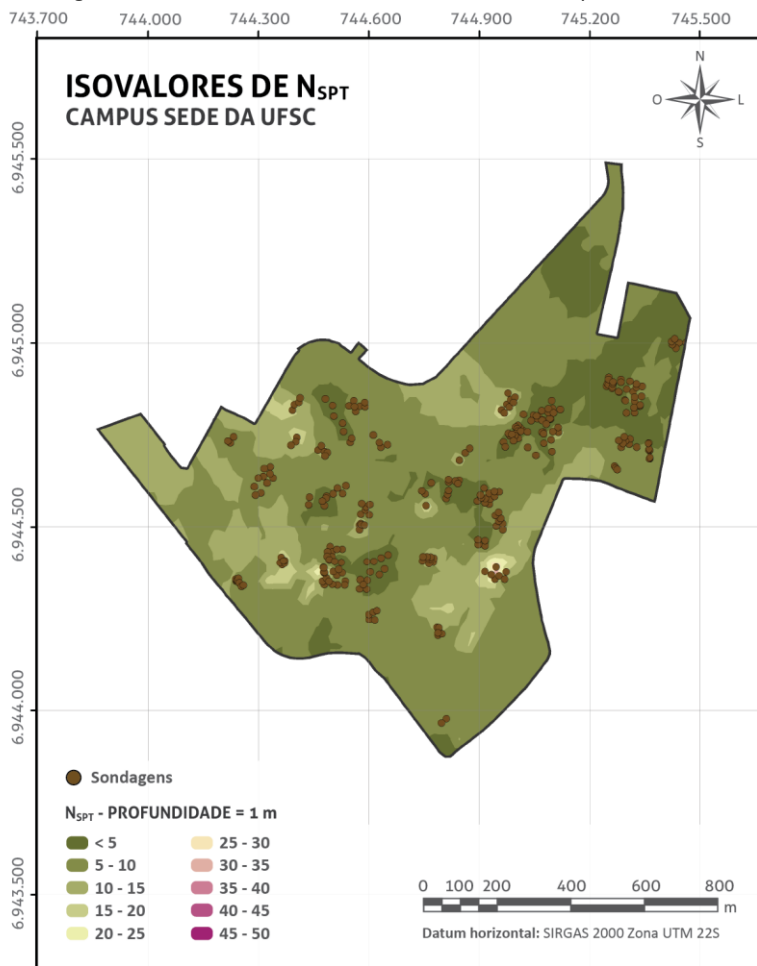
### 5.2.5 Cartas de isovalores de $N_{SPT}$

As cartas de isovalores de  $N_{SPT}$  foram desenvolvidas iniciando-se a 1 metro (Figura 53) e finalizando a 25 metros de profundidade, sendo esta a camada em que, conforme conjunto de dados analisados, não restam mais pontos penetráveis à percussão. Todavia, a exemplo das cartas de tipos de solo, de modo a reduzir a quantidade de cartas apresentadas para esse parâmetro, nesta seção são expostas as cartas elaboradas a cada dois metros. Assim, as análises têm início no primeiro

metro de profundidade e se estendem até 19 metros, quando, para as faixas de  $N_{SPT}$  adotadas, por contraste visual, houve certa predominância das cores entre cartas subsequentes.

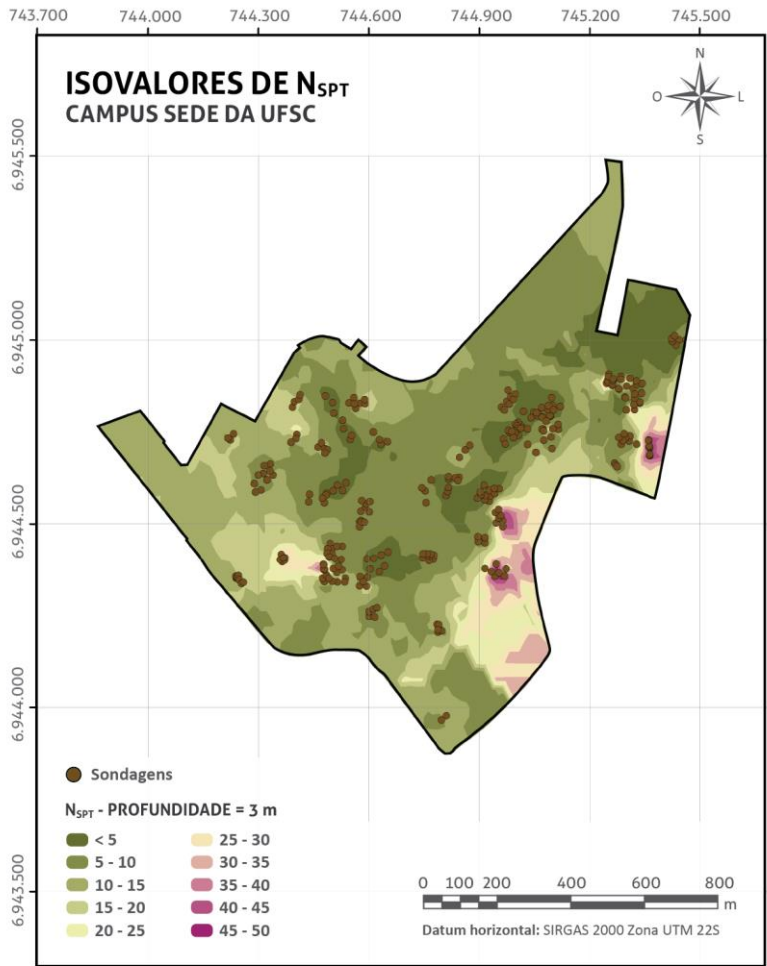
Por sua vez, ao final da seção, a Figura 63 traz uma compilação das cartas geradas para as 25 camadas, de forma a possibilitar a visualização simultânea da variação da resistência do solo ao longo das profundidades. Além disso, a Tabela 8 mostra a frequência de áreas para cada faixa de  $N_{SPT}$  observada, a fim de se ter um indicativo quantitativo para complementar as análises das cartas.

Figura 53 – Carta de isovalores de  $N_{SPT}$ : 1 metro de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Figura 54 – Carta de isovalores de  $N_{SPT}$ : 3 metros de profundidade



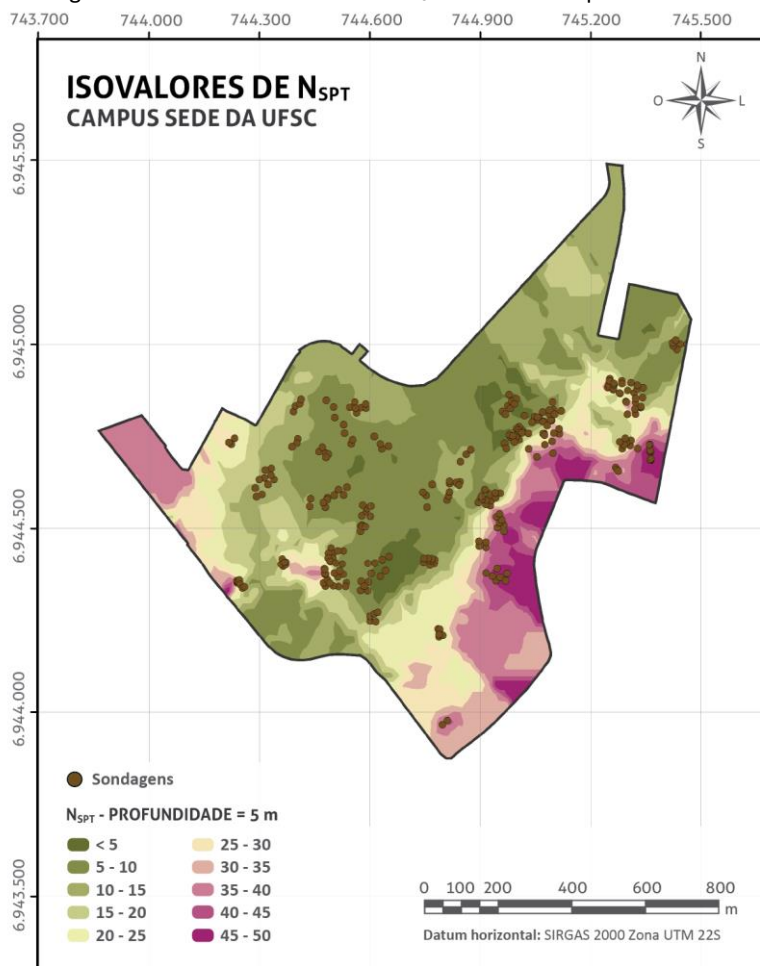
Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por meio da Figura 53, visualmente, é possível perceber tonalidades esverdeadas para o primeiro metro de profundidade, correspondentes a faixas de valores reduzidos de  $N_{SPT}$ , ao longo de toda a área do Campus sede da UFSC. No entanto, a 3 metros de profundidade (Figura 54), há um avanço em partes das regiões sudeste e sudoeste para tonalidades inerentes a valores de  $N_{SPT}$  intermediários (verde mais claro e bege). Conforme a Tabela 8, a 1 metro de profundidade, 77% da área



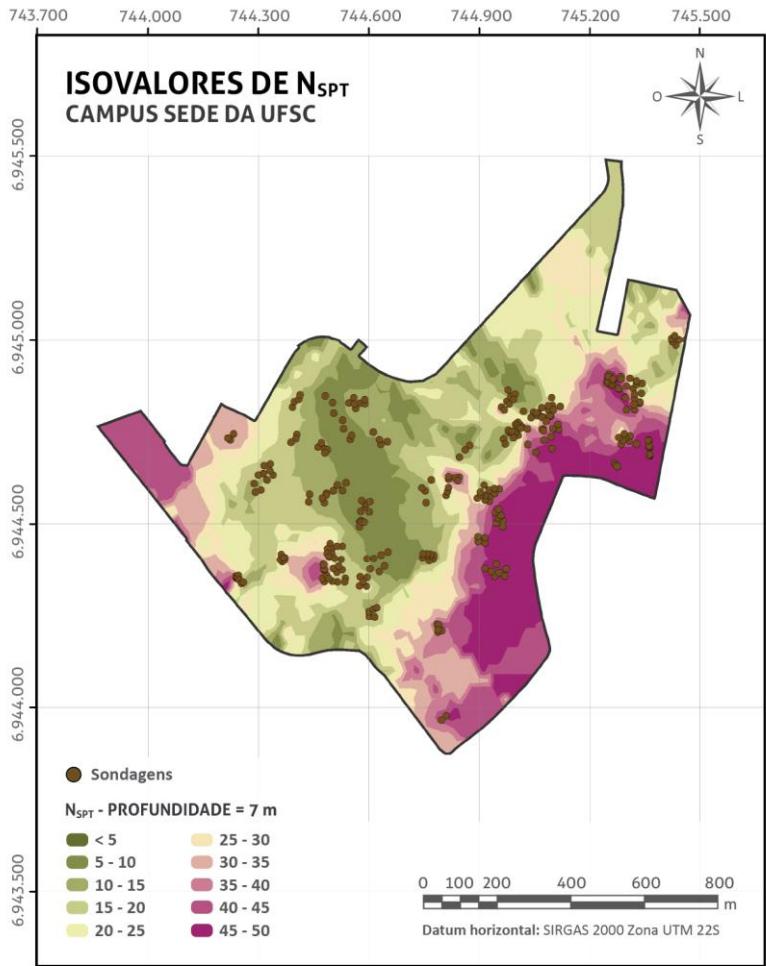
de estudo apresenta valores de  $N_{SPT}$  inferiores a 10, enquanto que a 3 metros de profundidade esse mesmo percentual é observado para áreas de  $N_{SPT}$  até 15.

Figura 55 – Carta de isovalores de  $N_{SPT}$ : 5 metros de profundidade



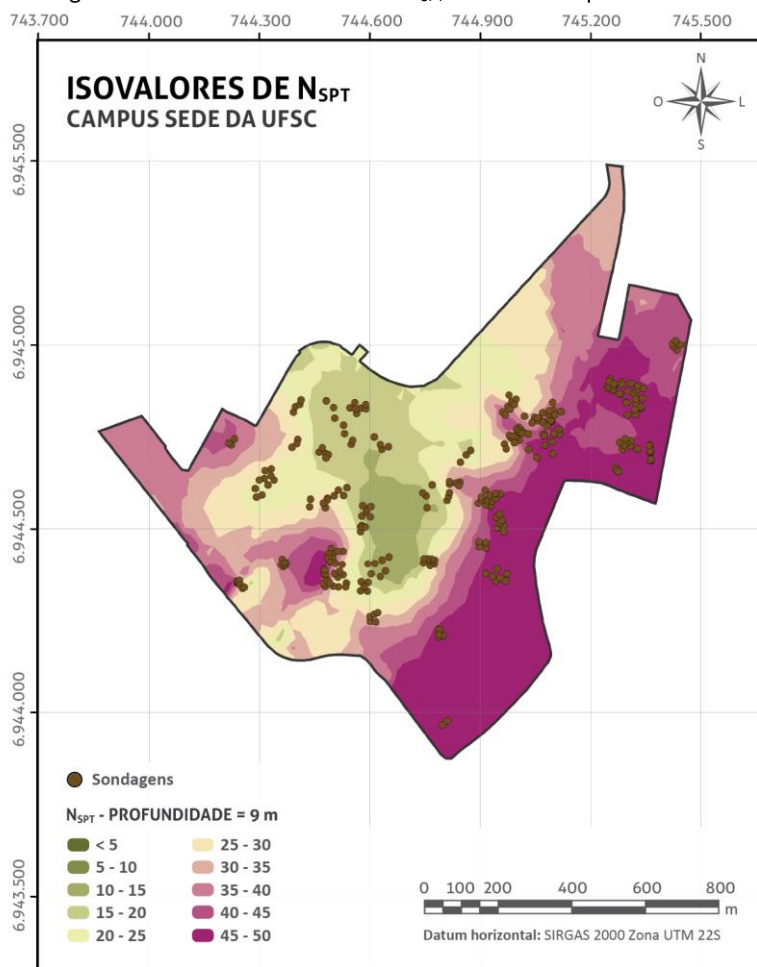
Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
 Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Figura 56 – Carta de isovalores de  $N_{SPT}$ : 7 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Figura 57 – Carta de isovalores de  $N_{SPT}$ : 9 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Ao analisar as cartas para 5 metros (Figura 55), 7 metros (Figura 56) e 9 metros de profundidade (Figura 57), é possível perceber que as zonas com maiores valores de  $N_{SPT}$  progridem das regiões sudeste e oeste para a região cento-norte, melhorando a resistência do solo do Campus sede da UFSC ao longo das camadas analisadas. Nesse sentido, quantitativamente, verifica-se um acréscimo de área nas zonas que contém maiores valores de  $N_{SPT}$  com o aumento da profundidade

(Tabela 8), visto que mais de 50% da área dispõe de  $N_{SPT}$  entre 5 e 20, 10 e 30, assim como 15 e 35, respectivamente, para as camadas avaliadas.

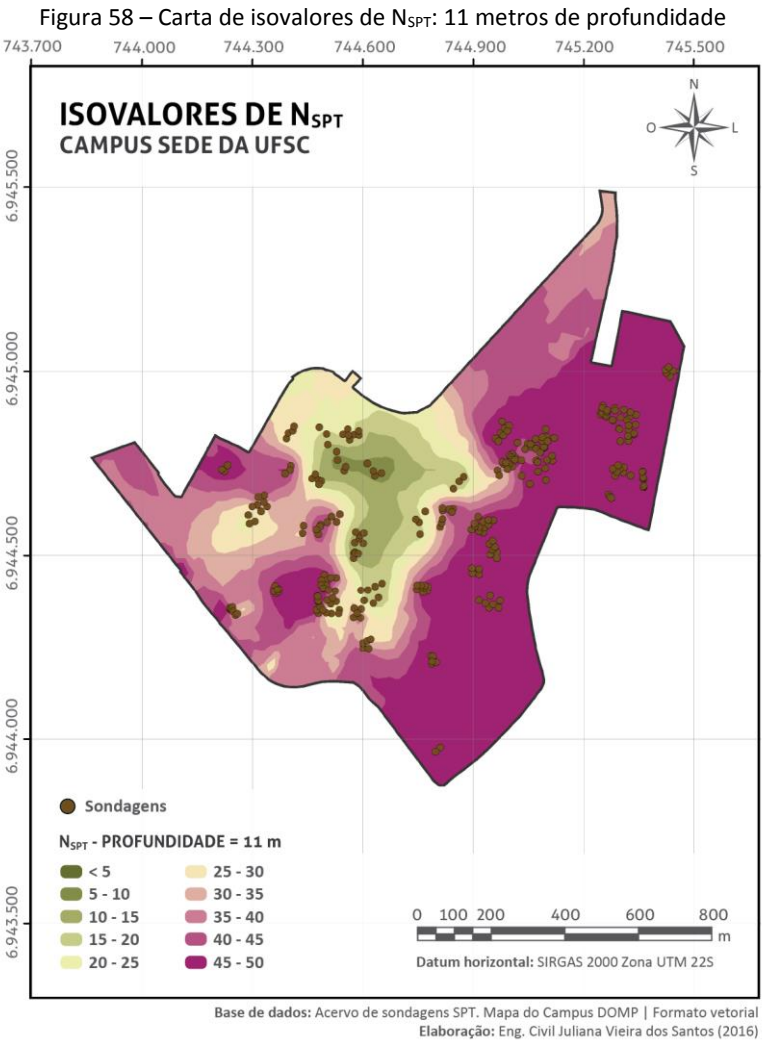
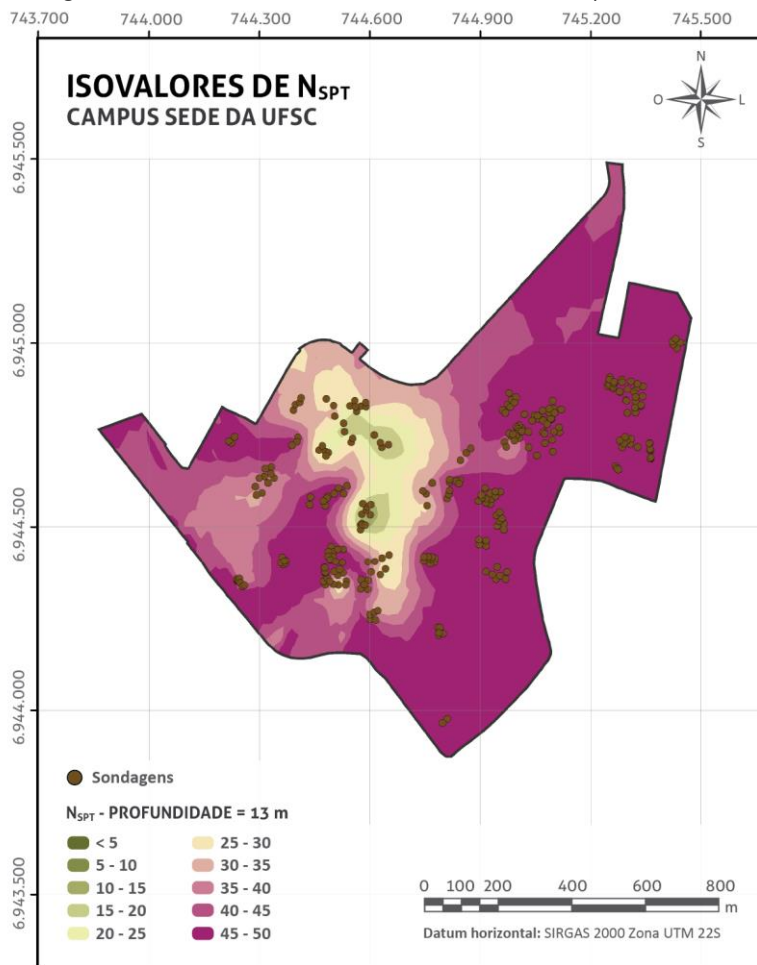
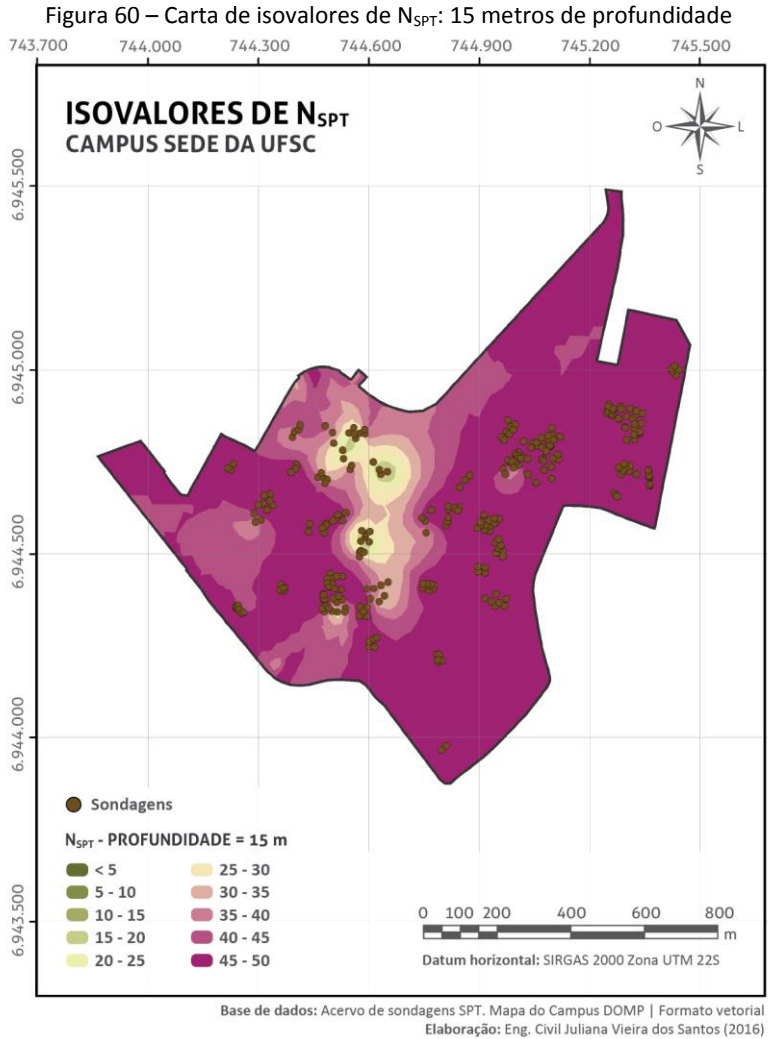


Figura 59 – Carta de isovalores de  $N_{SPT}$ : 13 metros de profundidade



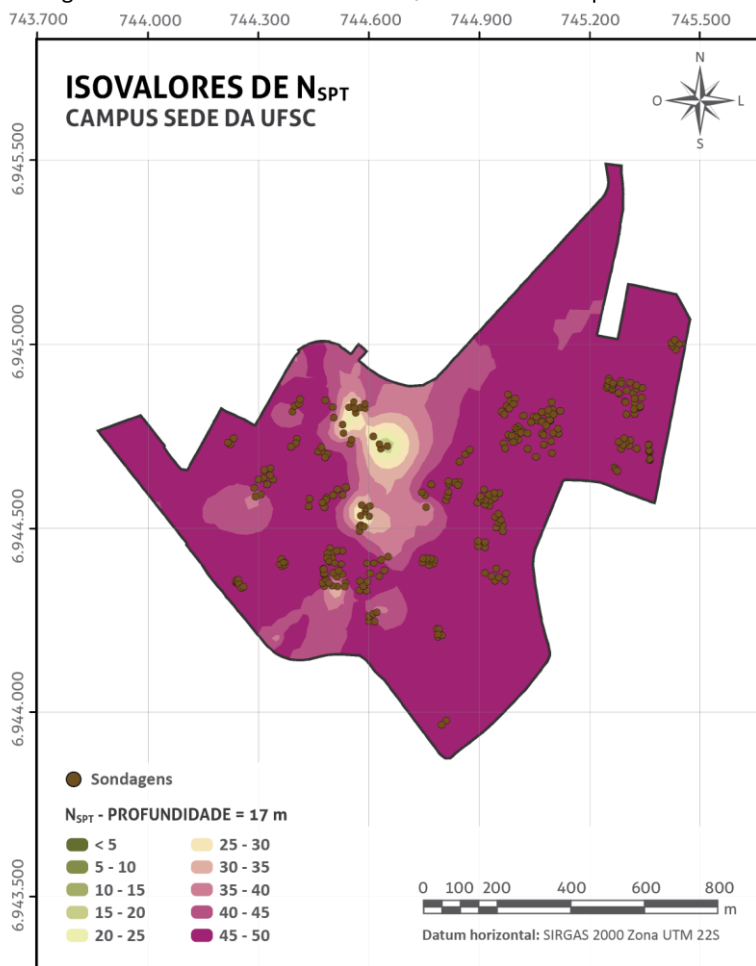
Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)



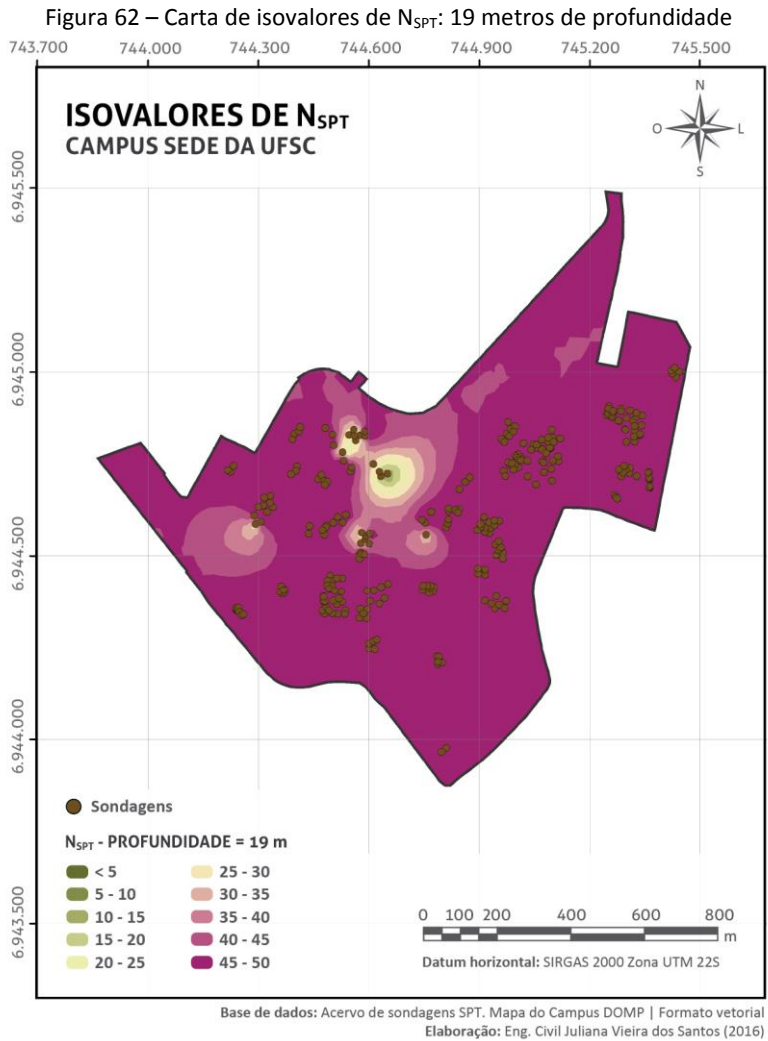
As cartas apresentadas para 11 metros (Figura 58), 13 metros (Figura 59) e 15 metros de profundidade (Figura 60) evidenciam que a última região a apresentar melhoria na resistência do solo, em termos de  $N_{SPT}$ , é a porção centro-norte do Campus, abrangendo o Centro Socioeconômico (CSE), o Centro de Ciências Jurídicas (CCJ) e Centro de Comunicação e Expressão (CCE). No entanto, de acordo com a Tabela 8, cerca de 53,7% da área de estudo possui  $N_{SPT}$  acima de 40 na

profundidade de 11 metros, sendo que esse percentual aumenta para 76,2% e 90,6% para as camadas situadas a 13 e 15 metros, respectivamente.

Figura 61 – Carta de isovalores de  $N_{SPT}$ : 17 metros de profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)



A cartas desenvolvidas para 17 metros (Figura 61) e 19 metros de profundidade (Figura 62) indicam o início de uma consolidação de altos valores de  $N_{SPT}$  (tonalidades em roxo), visto que, na primeira, 80% da área do Campus sede da UFSC se encontra dentro da faixa de resistência do solo mais elevada ( $N_{SPT}$  entre 45 - 50), enquanto que, na segunda, esse percentual aumenta para 86,7%. Por meio da Tabela 8 é possível afirmar que, para ambos os casos, aproximadamente 90% da área



apresenta valores de  $N_{SPT}$  entre 40 e 50, valores considerados elevados e próximos ao impenetrável a sondagem à percussão.

De modo geral, conforme tendência apresentada na Tabela 8, os solos de menores resistências (coloração esverdeada e bege) vão reduzindo sua participação nas camadas mais profundas até o momento em que desaparecem. Consequentemente, a medida em que a profundidade aumenta, cresce o percentual de área que possui valores altos de  $N_{SPT}$ . Tal comportamento é esperado especialmente para as zonas do Campus sede da UFSC onde se verifica a existência de solos residuais (porções sudeste e oeste). Para as demais regiões, o índice de resistência varia ao longo das profundidades analisadas, sendo responsáveis pela ocorrência de casos como o verificado para a faixa de  $15 \leq N_{SPT} \leq 20$ , que não apresentou mais ocorrência a 17 metros de profundidade, mas retornou a surgir na camada de 19 metros.

Tabela 8 – Frequência de área para as faixas de  $N_{SPT}$ 

$N_{SPT}$	% de área				
	1 m	3 m	5 m	7 m	9 m
< 5	15,30%	8,00%	1,50%	-	-
5 – 10	62,20%	33,40%	24,10%	8,40%	0,00%
10 – 15	21,60%	36,20%	22,00%	13,80%	2,40%
15 – 20	0,80%	6,90%	7,90%	14,60%	8,60%
20 - 25	0,10%	5,70%	7,60%	13,00%	10,40%
25 – 30	-	4,70%	9,40%	9,10%	14,80%
30 – 35	-	3,10%	6,20%	13,30%	16,40%
35 – 40	-	1,00%	7,20%	3,60%	13,90%
40 – 45	-	1,00%	6,80%	7,20%	8,80%
45 – 50	-	-	7,40%	17,10%	24,80%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 53</b>	<b>Figura 54</b>	<b>Figura 55</b>	<b>Figura 56</b>	<b>Figura 57</b>

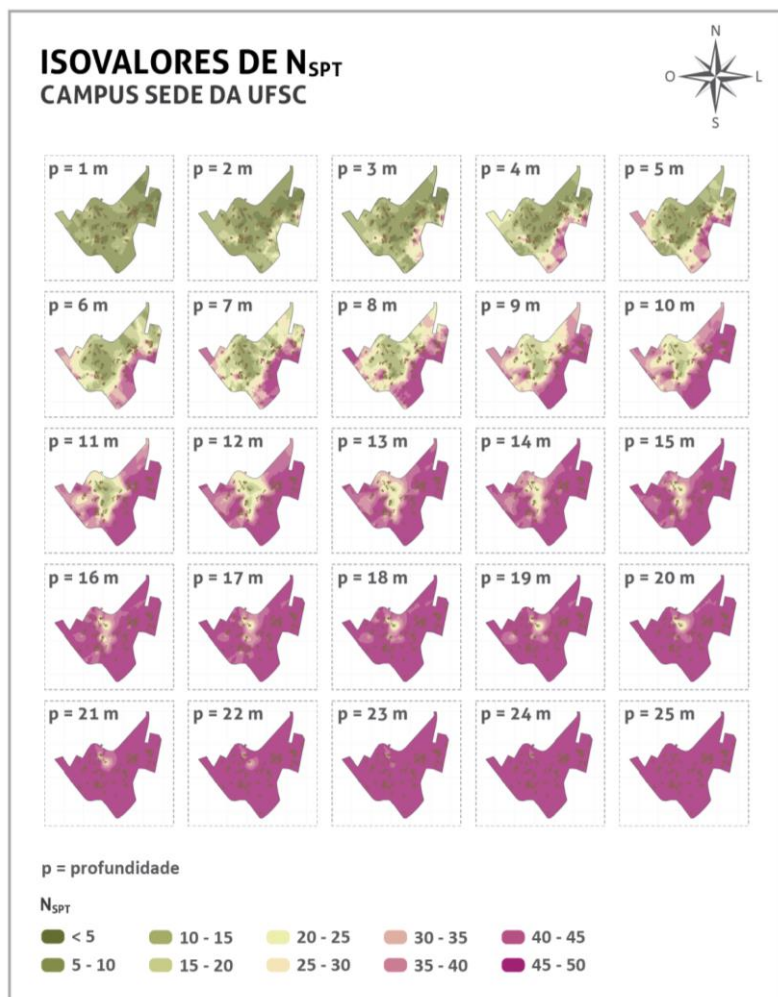
  

$N_{SPT}$	% de área				
	11 m	13 m	15 m	17 m	19 m
< 5	-	-	-	-	-
5 – 10	0,30%	-	-	-	-
10 – 15	1,70%	0,10%	-	-	-
15 – 20	3,40%	0,60%	0,20%	-	0,10%
20 - 25	3,50%	1,20%	0,40%	0,20%	0,20%
25 – 30	5,10%	3,10%	0,90%	0,50%	0,30%
30 – 35	12,40%	5,50%	2,40%	0,90%	0,60%
35 – 40	20,10%	13,40%	5,40%	3,70%	2,00%
40 – 45	17,10%	22,50%	18,60%	14,70%	10,10%
45 – 50	36,60%	53,70%	72,00%	80,00%	86,70%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 58</b>	<b>Figura 59</b>	<b>Figura 60</b>	<b>Figura 61</b>	<b>Figura 62</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Diante do exposto, verifica-se que há uma tendência de crescimento das áreas contendo elevados valores de  $N_{SPT}$  com o aumento da profundidade, que segue até os 25 metros, onde o impenetrável a percussão é completamente atingido, conforme pode-se verificar na Figura 63.

Figura 63 – Resultado das interpolações dos  $N_{SPT}$  em cada profundidade



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Assim sendo, observa-se, de forma qualitativa, que o subsolo do Campus sede da UFSC apresenta um decréscimo de valores de  $N_{SPT}$  das porções laterais e inferiores à região centro-norte, que contém solos moles e, consequentemente, de menores resistências. Em termos numéricos, por meio da Tabela 8, é possível perceber que no primeiro metro de profundidade os resultados concentram-se em até 25 golpes, enquanto que a partir de 15 metros de profundidade não há mais presença de áreas com valores de  $N_{SPT}$  inferiores a 15 golpes.

#### 5.2.6 Cartas de comprimento máximo de estacas

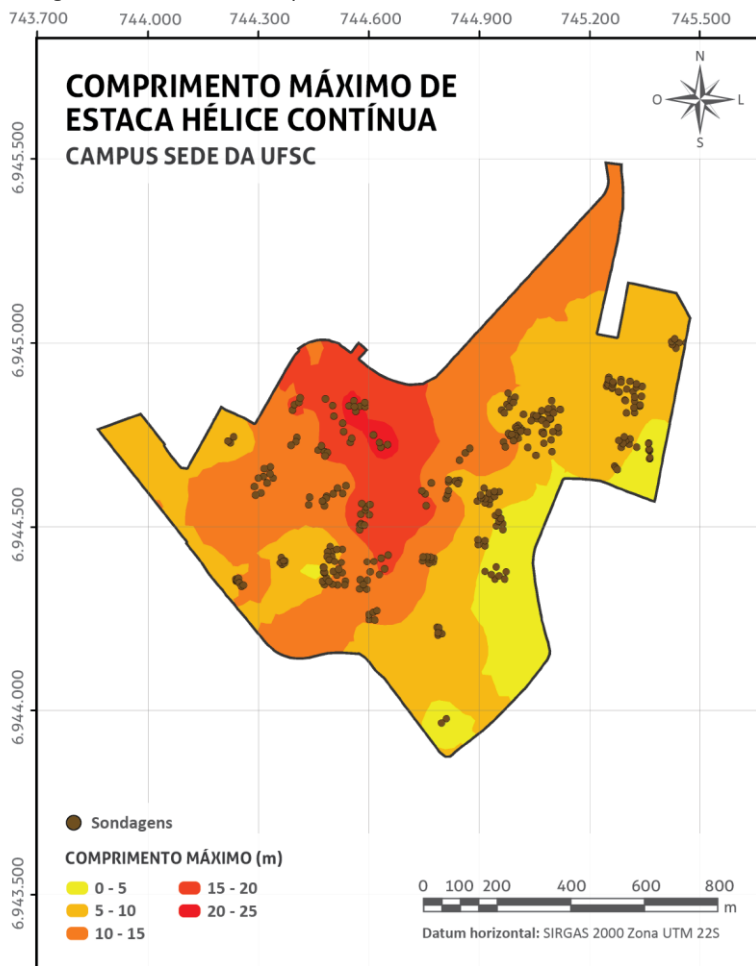
Conforme explanado na seção 4.3.4.2.6, as cartas de comprimento máximo de estacas foram elaboradas para os tipos de fundações profundas mais comuns de serem executadas no Campus sede da UFSC: estacas hélice contínua, pré-moldada e raiz. Desse modo, no algoritmo desenvolvido para gerar as cartas, o comprimento máximo das estacas considerou, em cada ponto de sondagem, a profundidade em que é encontrado o  $N_{SPT}$  recomendado para seus respectivos cravamentos, seguindo o limite superior indicado no Quadro 8.

As cartas são apresentadas, inicialmente, para a estaca hélice contínua (Figura 64), seguida dos resultados inerentes às estacas pré-moldadas (Figura 65 e Figura 66) e, por fim, para a estaca raiz. Acerca dessas cartas, destaca-se que as regiões com tonalidades amarelas tendem a apresentar estacas mais curtas (até 10 metros de comprimento), enquanto as áreas alaranjadas e vermelhas, estacas de tamanhos intermediários e longos (variando de 10 a 25 m de comprimento).

De forma semelhante às análises anteriores, os locais que apresentam impenetráveis à percussão mais profundos, como os centros CSE, CCJ e CCE, na porção centro-norte do Campus sede da UFSC, também proporcionam uma tendência de resultar em maiores comprimentos máximos de estacas nos quatro cenários analisados. Por outro lado, a região sudeste demonstrou ser uma área com previsão de menor comprimento de estaca.

Assim como exposto nas demais análises, as porcentagens de área por faixa de comprimento máximo de estaca podem ser verificadas, quantitativamente, após apresentação das cartas, na Tabela 9.

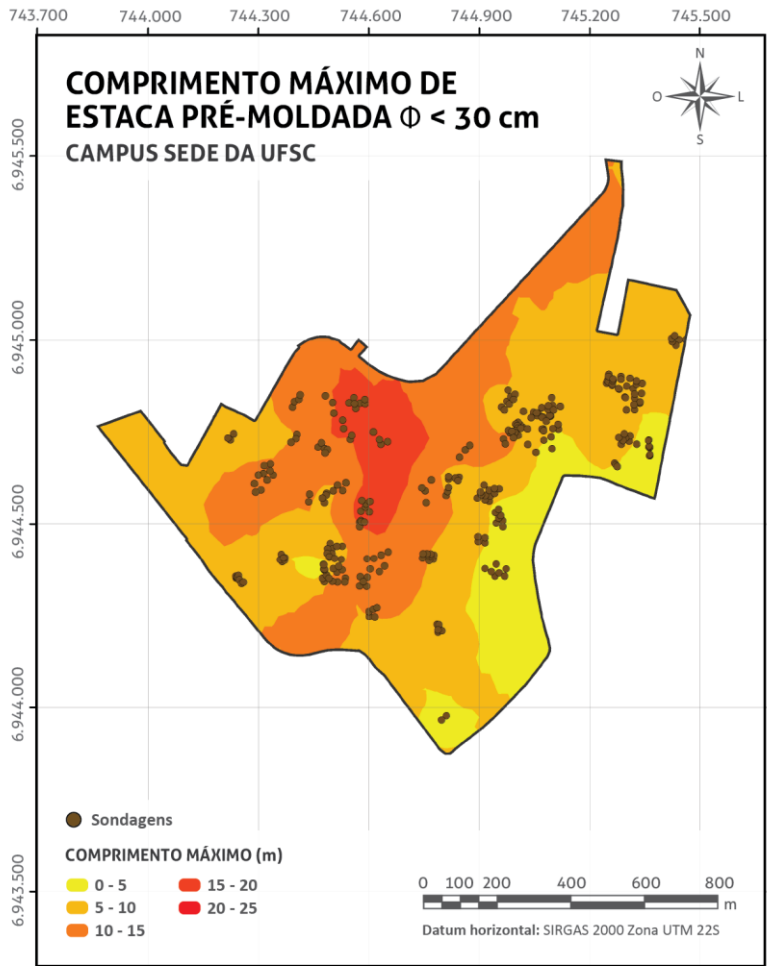
Figura 64 – Carta de comprimento máximo de estaca hélice contínua



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por meio da Figura 64 observa-se que o comprimento máximo previsto para as estacas hélice contínua no Campus sede da UFSC é menor nas regiões sudeste e oeste, aumentando de tamanho conforme direciona-se para a porção centro-norte, em que apresenta dimensões elevadas. De acordo com a Tabela 9, para 92% da área de estudo é destinada à execução de estacas hélice contínua com até 15 metros de comprimento.

Figura 65 – Carta de comprimento máximo de estaca pré-moldada ( $\Phi < 30$  cm)

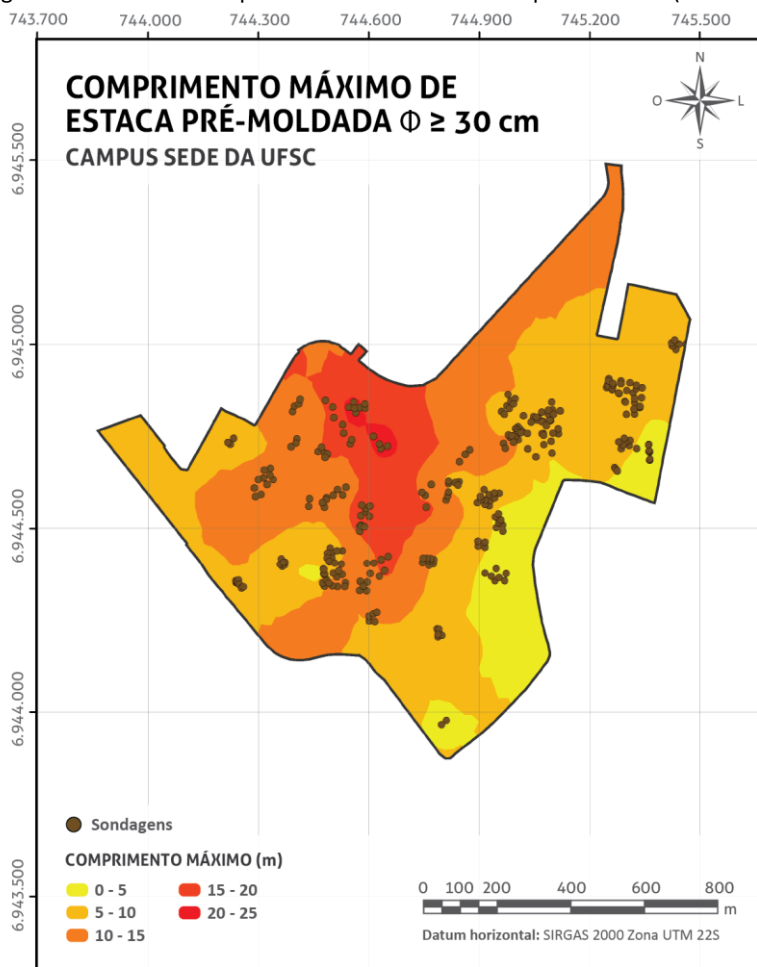


Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

A carta elaborada para a estaca pré-moldada com diâmetro menor que 30 cm (Figura 65) demonstra uma redução do comprimento máximo quando comparada à estaca hélice contínua, haja vista o assentamento da fundação poder ocorrer em menor valor de  $N_{SPT}$ . Quantitativamente, verifica-se que cerca de 97% da área do Campus sede da UFSC apresenta comprimentos máximos para esse tipo de

estaca de até 15 metros (Tabela 9) e não há regiões com tendência a apresentar tamanhos de estacas superiores a 20 metros.

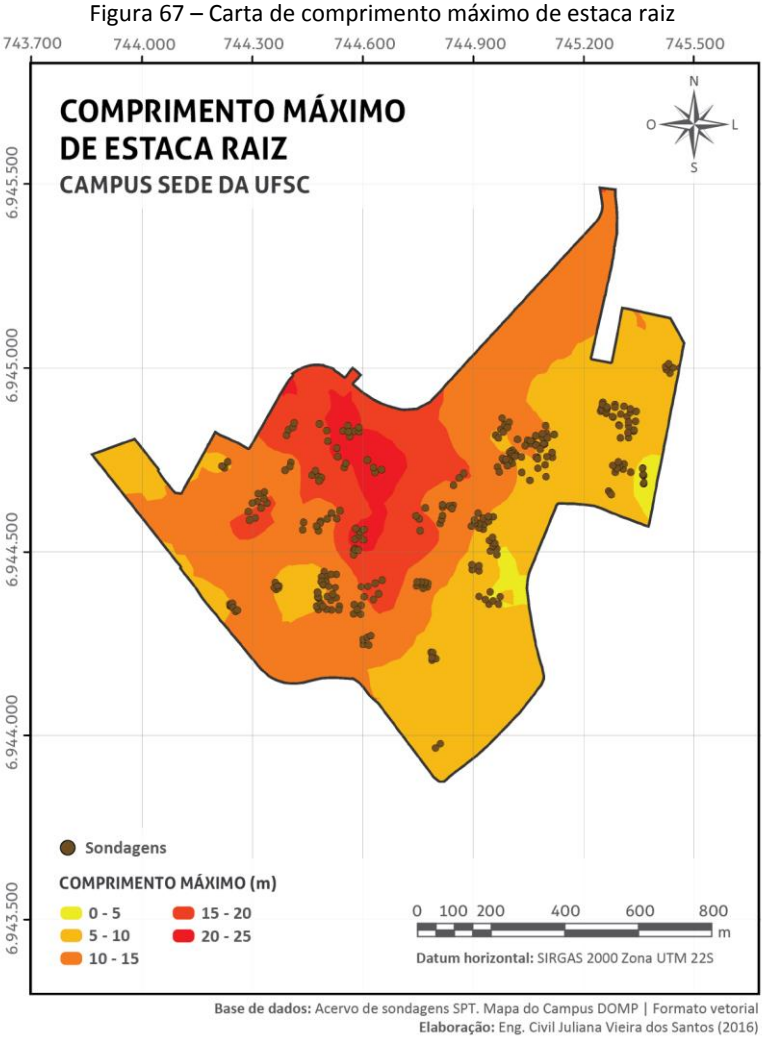
Figura 66 – Carta de comprimento máximo de estaca pré-moldada ( $\Phi > 30$  cm)



Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Ao analisar a Figura 66 em contraste à carta apresentada anteriormente, é possível perceber um aumento do tamanho das estacadas pré-moldadas quando possuem diâmetros maiores, em função da necessidade de alcançar maior valor de  $N_{SPT}$  ao final de sua

cravação. Em termos numéricos, por meio da Tabela 9, nota-se uma redução de 15% das áreas com comprimentos máximos de até 10 metros e um crescimento de 122% de regiões com tamanhos de estacas superiores a 15 metros, em que surge uma zona para a faixa de comprimento entre 20 e 25 metros, antes inexistente.





Para a estaca raiz (Figura 67), verificam-se comprimentos máximos superiores aos demais tipos, uma vez que o limite de  $N_{SPT}$  para assentamento da fundação é maior, alcançando a camada de rocha. Ademais, na Tabela 9 pode-se perceber, numericamente, um aumento das áreas com comprimento na faixa entre 15 e 20 metros, que passa a compor 19% do Campus sede da UFSC.

De maneira geral, tendo em vista que os resultados expostos dependem dos valores de  $N_{SPT}$ , nota-se que não houve variação das regiões de maiores e menores comprimentos de estacas, havendo apenas alteração da área de abrangência das faixas de comprimento das estacas analisadas, conforme detalha a Tabela 9.

Tabela 9 – Frequência de área para os comprimentos máximos das estacas

Comprimento máximo da estaca (m)	% de área			
	Hélice contínua	Pré-moldada ( $\phi < 30$ )	Pré-moldada ( $\phi \geq 30$ )	Raiz
0 - 5	16,8%	18,5%	17,2%	1,9%
5 - 10	34,1%	46,6%	38,2%	38,8%
10 - 15	41,2%	32,2%	38,7%	38,3%
15 - 20	7,5%	2,7%	5,6%	19,0%
20 - 25	0,5%	-	0,3%	2,0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Carta</b>	<b>Figura 64</b>	<b>Figura 65</b>	<b>Figura 66</b>	<b>Figura 67</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Os resultados numéricos expostos na Tabela 9 apontam que a estaca pré-moldada  $\phi < 30$  cm apresenta maior frequência entre o comprimento de 5 a 10 metros, com um percentual de 46,6%, enquanto as estacas hélice contínua e pré-moldada  $\phi \geq 30$  cm tem maior ocorrência no comprimento de 10 a 15 metros, 41,2% e 38,7%, respectivamente. Devido ao fato de o limite de execução da estaca raiz ser superior aos demais tipos analisados, visto a premissa de que se deve atingir a rocha para a cravação da fundação, esse tipo de estaca apresentou frequências mais elevadas nas faixas de maior comprimento superiores a 15 metros.

### 5.3 LIMITAÇÕES E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

As cartas desenvolvidas ao longo desse estudo têm o objetivo de subsidiar seus usuários acerca de parâmetros úteis ao desenvolvimento de um projeto geotécnico, visto que fornecem, de forma antecipada, informações inerentes aos tipos de solo, à superfície do impenetrável a percussão, à superfície freática, ao provável tipo de fundação, às tensões admissíveis para fundação superficial, aos isovalores de  $N_{SPT}$  e ao comprimento máximo de estacas. Dentre as considerações realizadas no método par viabilizar os resultados, destacam-se três limitações que podem ocasionar alguma imprecisão ao modelo.

1. As coordenadas horizontais dos furos de sondagens foram obtidas de forma visual, observando-se simultaneamente o croqui dos boletins e a imagem aérea da área de estudo, uma vez que na grande maioria dos laudos não constava a localização geográfica dos pontos.
2. As coordenadas verticais dos furos de sondagem foram obtidas mediante o cruzamento de suas coordenadas horizontais com o MDT, pois a maioria dos laudos também não dispunha dessa informação.
3. Não houve um planejamento da localização e da distribuição da coleta dos dados (laudos de sondagem), em virtude de serem provenientes de fontes secundárias<sup>4</sup>.

Diante do exposto, devido a importância das sondagens que compõe o banco de dados geológico-geotécnico desenvolvido neste trabalho, verificou-se que sua qualidade está diretamente relacionada à distribuição e heterogeneidade dos elementos em estudo utilizados na análise geoestatística, os quais consistem no conjunto de dados de impenetrável a percussão, nível d'água e  $N_{SPT}$ . Nesse contexto, Silva (2011) afirma que as interpolações devem verificar as seguintes limitações de distância, homogeneidade, tipificação e seleção de atributos, objetividade, escala. Assim, optou-se pela realização de uma

---

<sup>4</sup> Dados secundários são aqueles que foram coletados com outros propósitos e não o de atender às necessidades da pesquisa em andamento. São informações de baixo custo de aquisição e rápida disponibilização (THIESEN, 2016).

análise adicional da representatividade espacial com base nas referências publicadas por Zuquette (1993).

O Quadro 13 apresenta uma referência do número mínimo de observações por km<sup>2</sup>, a qual é relacionada a uma distância máxima entre os pontos observados.

Quadro 13 – Número mínimo de observações e distância entre os pontos

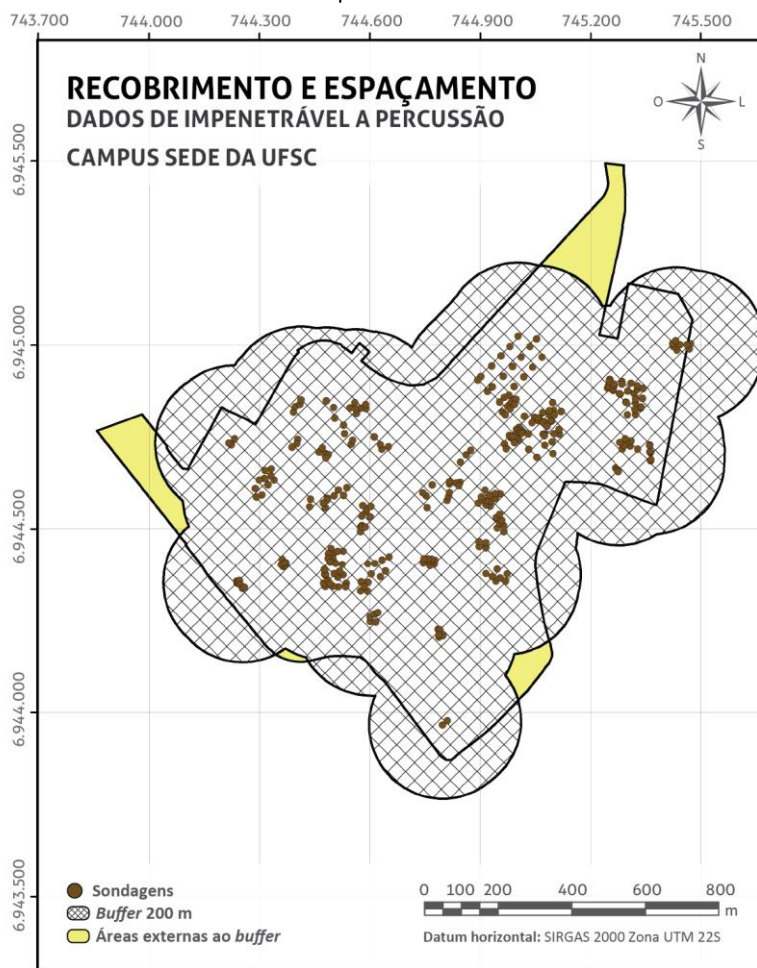
Finalidad e do mapeam ento geotécni co	Escala	Atributos					
		Qualitativos				Quantitativos	
		Metamórficas e Ígneas		Sedimentares		Geral	
		Observa ções /km <sup>2</sup>	Distância entre os pontos observad os (m)	Observa ções /km <sup>2</sup>	Distância entre os pontos observad os (m)	Observa ções /km <sup>2</sup>	Distância entre os pontos observad os (m)
Básico	1:250.000	1/10	3.162	1/10	3.162	1/10	3.162
Regional	1:100.000	4/10	1.581	3/10	1.826	2/10	2.236
	1:50.000	6/5	913	1/1	1.000	3/10	1.826
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/1	1.000
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/1	500
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316
	1:5.000	25/1	200	20/1	224	15/1	258
	1:2.000	40/1	158	35/1	169	25/1	200

Fonte: Zuquette (1993) *apud* Thiesen (2016)

Ao analisar a coluna referente aos atributos quantitativos no Quadro 13, observa-se, destacado em cinza, que o presente estudo se insere no contexto de 25 observações/km<sup>2</sup> apesar de ter sido verificado, no pior caso, ainda mais observações (291 observações/km<sup>2</sup>). Em função do volume de dados utilizados ter sido elevado, as cartas geradas se enquadram na categoria detalhada, com escala de 1:2.000 e, portanto, sendo recomendada uma distância máxima entre pontos de 200 metros. Assim, haja vista a importância de levar em consideração a distribuição dos levantamentos utilizados nas análises, o espaçamento entre observações de 200 metros foi aplicado, na forma de *buffer*, sobre os dados utilizados no presente estudo.

Desse modo, a Figura 68, a Figura 69 e a Figura 70 apresentam o *buffer* de 200 metros aplicado, respectivamente, aos dados considerados na elaboração das cartas de superfície do impenetrável a percussão e superfície freática, assim como aos dados utilizados para geração das cartas que fizeram uso de valores de  $N_{SPT}$  (orientação quanto ao tipo de fundação, tensão admissível, isovalores de  $N_{SPT}$  e comprimento máximo de estacas). Além disso, ao final da apresentação dessas figuras, a Tabela 10 mostra a percentagem de área coberta pelo *buffer* de 200 metros, para cada conjunto de dados analisados.

Figura 68 – Distribuição espacial para o conjunto de dados de impenetrável a percussão

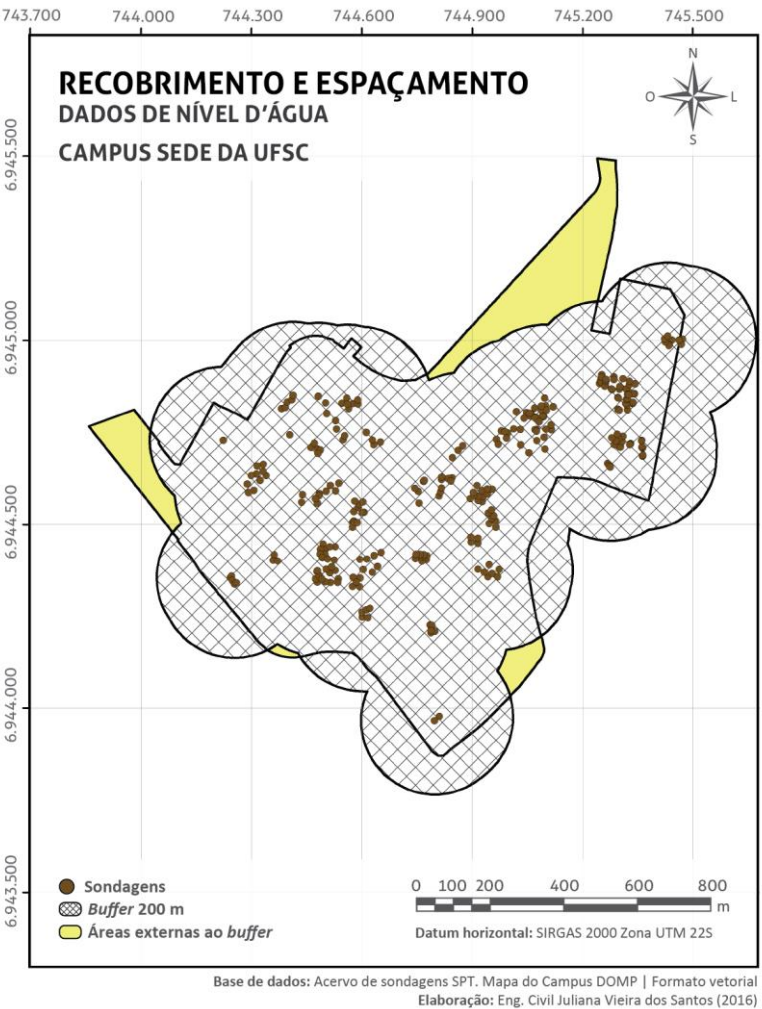


Base de dados: Acervo de sondagens SPT. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por meio da Figura 68 verifica-se que a maior parte do Campus sede da UFSC é recoberta pelo *buffer* representativo da distância máxima entre os pontos observados. Em termos numéricos, pela Tabela 10 observa-se que, para os dados de impenetrável a percussão, 92,9% da área de estudo encontra-se inserida na delimitação atribuída ao nível em detalhe do mapeamento. Assim, fica evidente a abrangência da

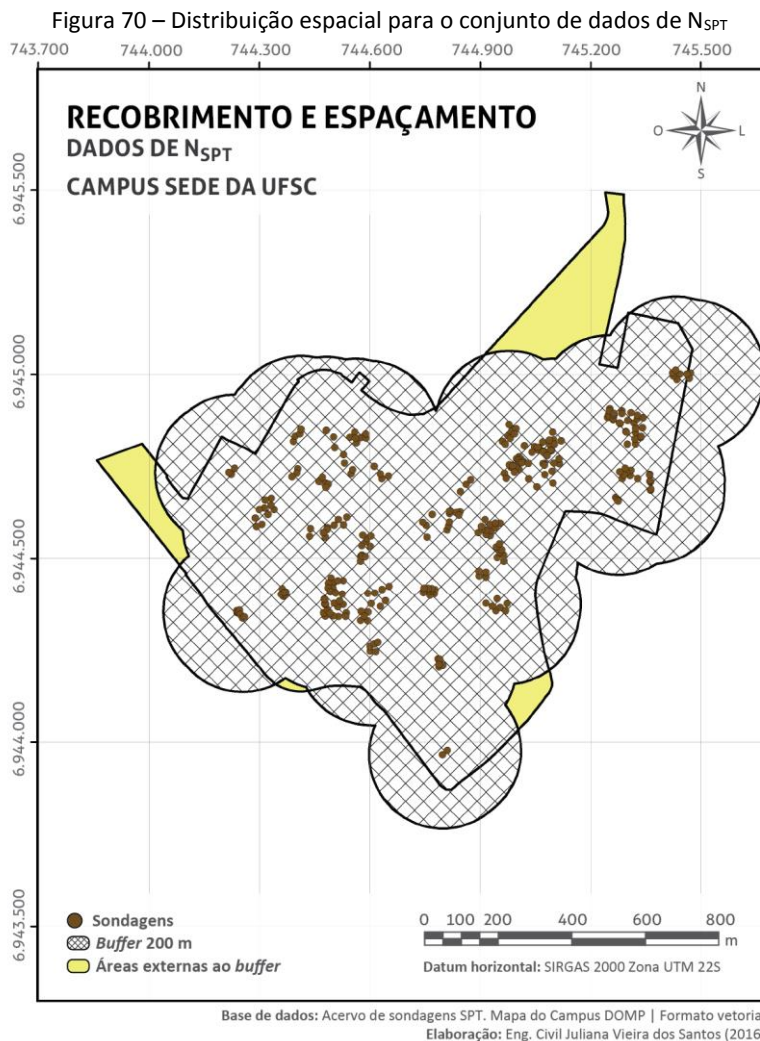
representatividade espacial dos dados e, conseqüentemente, dos resultados deles derivados.

Figura 69 – Distribuição espacial para o conjunto de dados de nível d’água



A área de abrangência dos pontos observados para as análises de nível d’água se mostrou semelhante à anterior, haja vista que, segundo a Tabela 10, cerca de 89% do Campus sede da UFSC ficaram inseridos dentro da região formada pelo *buffer* de 200 metros. Visualmente,

verifica-se que houve um aumento da área descoberta na porção superior da área de estudo, em função de os pontos de sondagem situados nesse local não dispor de registro de nível d'água.



Por fim, por meio da Figura 70 observa-se que o conjunto de dados utilizados para as análises envolvendo valores de  $N_{SPT}$  também apresentou, de forma visual, um cobertura espacial envolvendo a

maior parte do Campus sede da UFSC, representado pelo *buffer* de 200 metros. Quantitativamente, a Tabela 10 demonstra que menos de 10% da área de estudo encontra-se descoberta pela escala detalhada obtida para as cartas em questão.

Tabela 10 – Porcentagem de área coberta pelo *buffer* de 200 metros

<b>Conjunto de dados</b>	<b>% área</b>	<b>Carta</b>
Impenetrável	92,9%	Figura 68
Nível d'água	88,6%	Figura 69
N <sub>SPT</sub>	90,1%	Figura 70

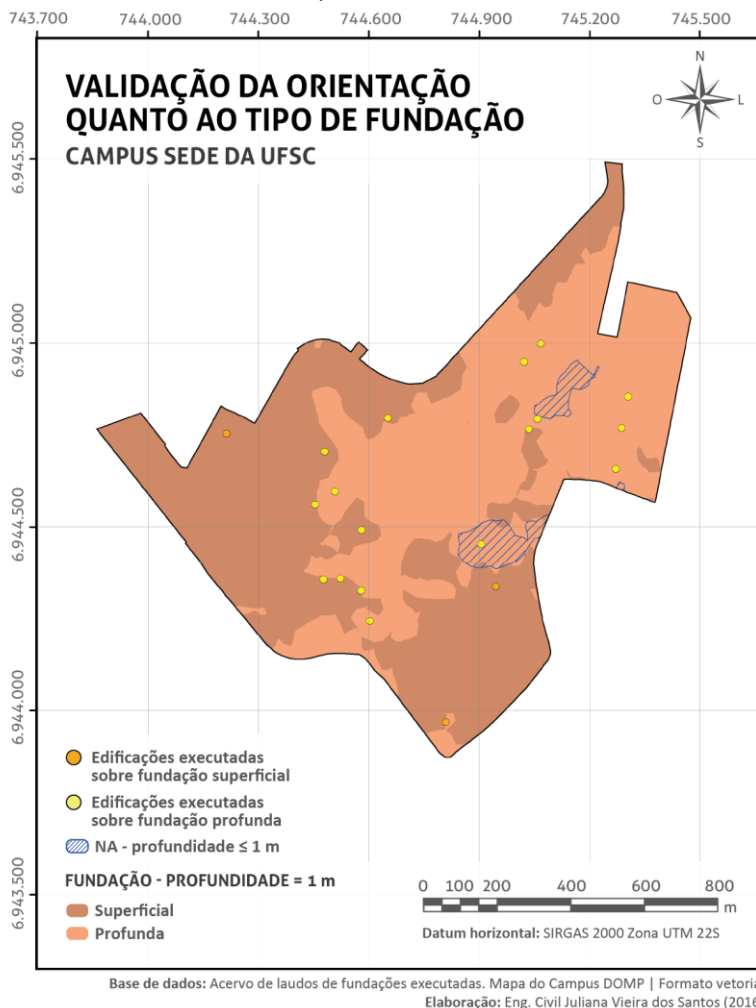
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Diante das comparações realizadas, é importante mencionar que elas representam uma forma de legitimar os resultados obtidos, visto que a amostragem utilizada no estudo alcançou uma quantidade considerável de dados e apresentou representatividade espacial detalhada, quando comparada com os parâmetros para mapeamento geotécnico de Zuquette (1993). Ademais, destaca-se ainda que o banco de dados desenvolvido é passível de atualização e incorporação de dados, possibilitando gerar cartas cada vez mais aprimoradas.

Além disso, conforme explanado na seção 4.4, por meio do acesso a laudos de fundações executadas foi possível realizar uma validação das cartas de orientação quanto ao tipo de fundação, observadas as fundações executadas em 20 edificações do Campus sede da UFSC, assim como das cartas de comprimento máximo de estacas. Desse modo, a Figura 71 e Figura 72 apresentam, respectivamente, as cartas de orientação quanto ao tipo de fundação para 1 e 2 metros de profundidade, em que os pontos em laranja indicam os prédios executados sobre fundação superficial, enquanto os amarelos representam execução de fundação profunda.



Figura 71 – Validação da carta de orientação para fundação: 1 metro de profundidade

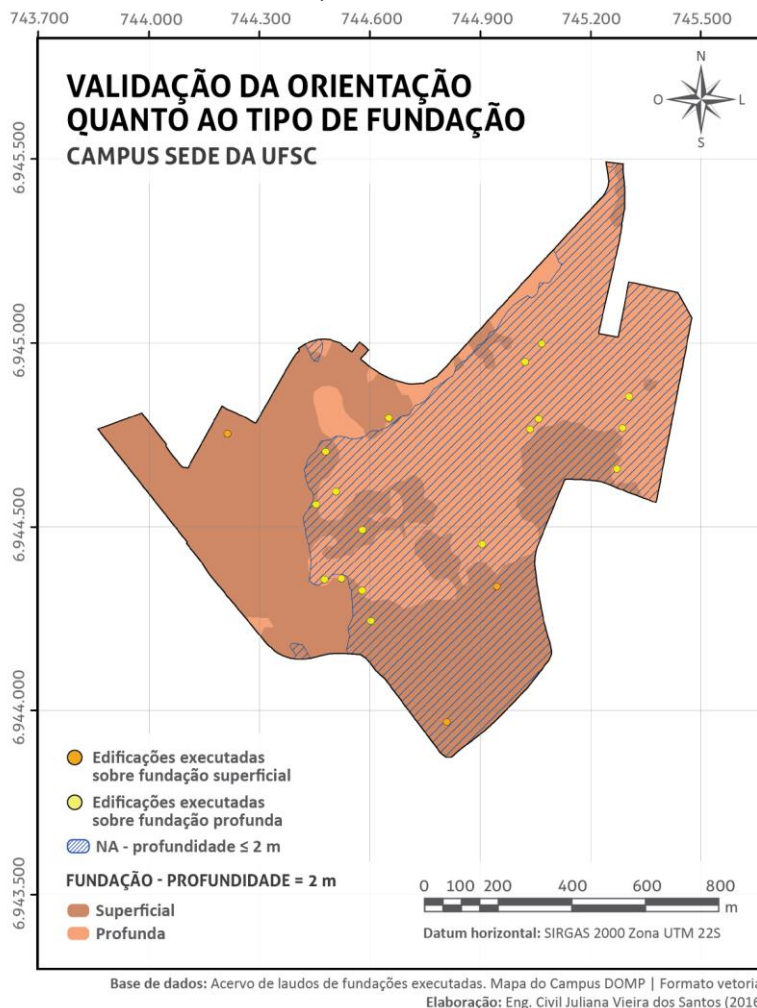


Por meio da Figura 71 observa-se que, das 20 edificações em que foi possível obter dados a respeito das fundações executadas, três delas foram construídas sobre fundação superficial, são elas: Moradia estudantil, situada na porção oeste do Campus sede da UFSC, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, à sudeste, bem como o prédio administrativo do Centro de Desportos. Desses locais, este último

foi edificado a menos de um metro de profundidade, enquanto os demais tiveram suas fundações executadas na camada de 2 metros.

De modo geral, verifica-se que a carta elaborada é coerente com as fundações executadas, visto que as edificações analisadas coincidiram com as respectivas zonas orientadas quanto ao tipo de fundação, com exceção do edifício Tecmídia. Este, porém, encontra-se em local considerado de transição, em função da proximidade com a área inerente às fundações profundas.

Figura 72 – Validação da carta de orientação para fundação: 2 metros de profundidade

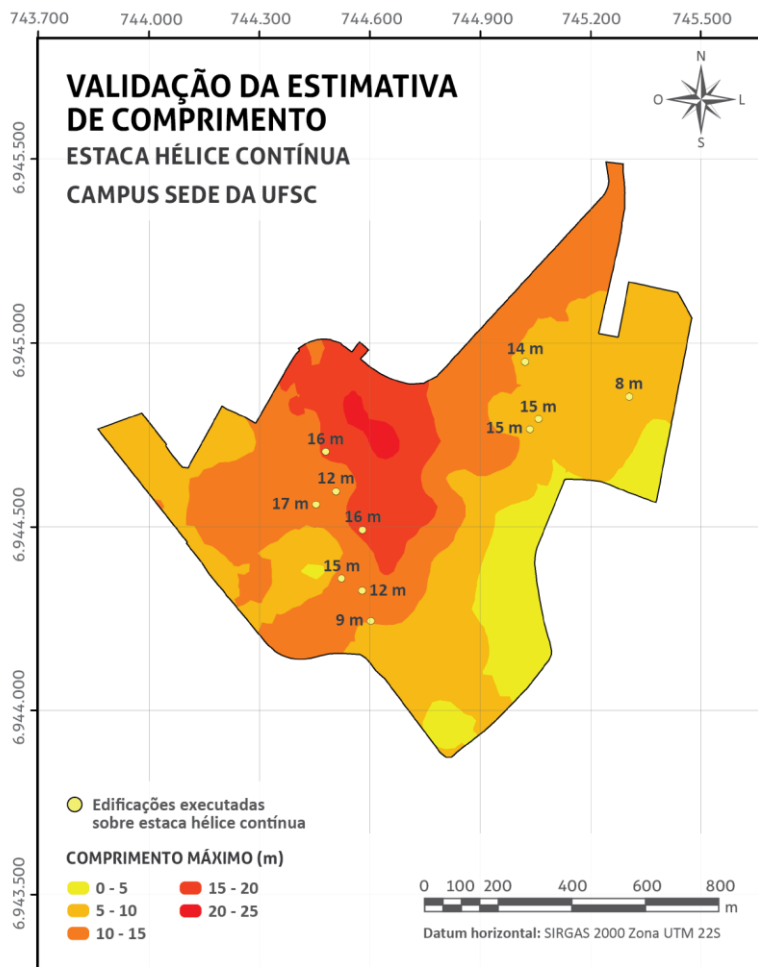


Para o segundo metro de profundidade, verifica-se situação semelhante, em que as edificações efetuadas sobre sapatas caíram na zona orientada a fundações superficiais. No entanto, em função de haver um pequeno aumento das áreas destinadas às fundações profundas, além do edifício Tecmídia observa-se que outros dois prédios executados com estacas sobreuseram áreas orientadas a fundação

superficial, mas muito próximas às zonas destinadas a fundações profundas. Diante do exposto e tendo em vista que se tratam de cartas orientativas, considera-se que os resultados gerados são aplicáveis à área de estudo.

Do mesmo modo, por meio de informações acerca das fundações executadas em 20 edificações do Campus sede da UFSC, fez-se uma validação dos comprimentos máximos estimados para as estacas. Assim, a Figura 73, a Figura 74 e a Figura 75 apresentam, respectivamente, as cartas elaboradas para a estaca hélice contínua, estaca pré-moldada e estaca raiz, considerando a inserção dos pontos representativos dos prédios construídos sobre as estacas em questão e contendo a informação do comprimento médio de estacas utilizada para cada um deles.

Figura 73 – Validação da carta de comprimento máximo de estaca hélice contínua

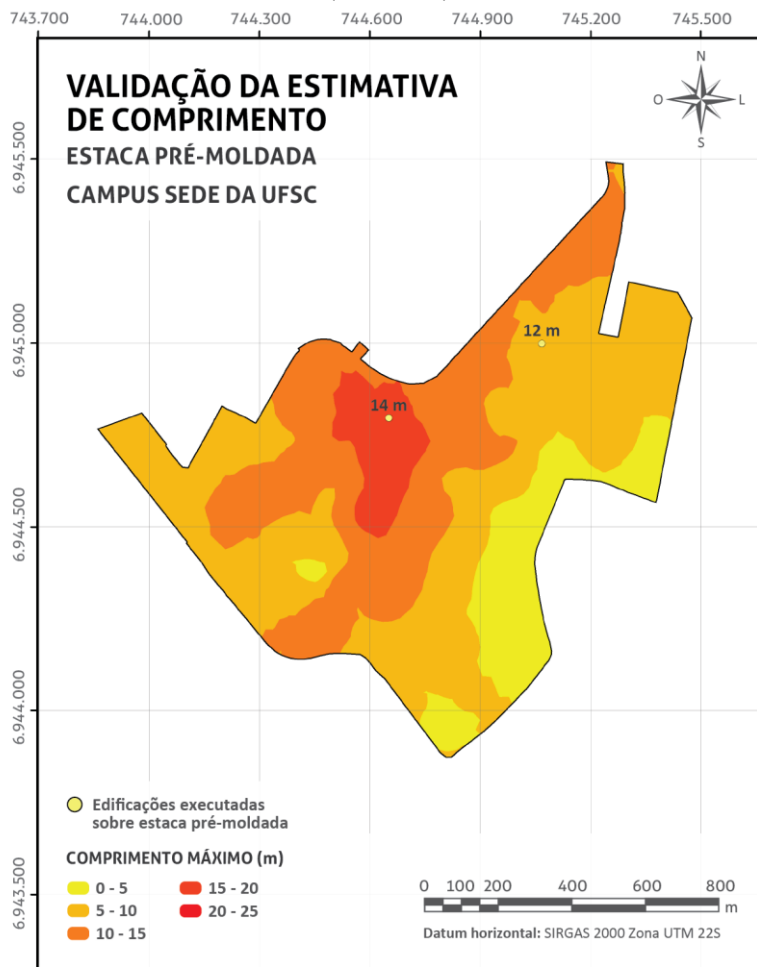


Por meio da Figura 73 percebe-se que 11 das 20 edificações cujas fundações puderam ser analisadas foram construídas sobre estaca hélice contínua, com uma média de comprimento entre elas de 13,5 metros. Ao analisar a região correspondente a estacas com comprimentos máximos entre 5 e 10 metros, verifica-se que há dois pontos que apresentam comprimentos coincidentes com a informação

disponibilizada na carta (8 e 9 metros), no entanto, três deles indicam a cravação de estacas com 14 e 15 metros. Todavia, tais pontos localizam-se próximos à área destinada a comprimentos entre 10 e 15 metros e, portanto, deve-se considerar que há uma região de transição em que pode ocorrer comprimentos inerentes à uma faixa situada em suas proximidades.

Ainda, observa-se que, para o intervalo de comprimento entre 10 e 15 metros, há quatro pontos cujas informações puderam ser coletadas, dos quais três correspondem à locais em que foram executadas estacas hélice contínua de 12 e 15 metros, enquanto apenas um refere-se à comprimento de estaca superior à zona analisada, apresentando 17 metros (13% acima do limite superior). Por fim, nota-se que há dois pontos situados na faixa de comprimentos entre 15 e 20 metros, os quais corroboram com o modelo desenvolvido, visto que apresentam estacas com comprimento médio de 16 metros.

Figura 74 – Validação da carta de comprimento máximo de estaca pré-moldada ( $\Phi < 30$  cm)

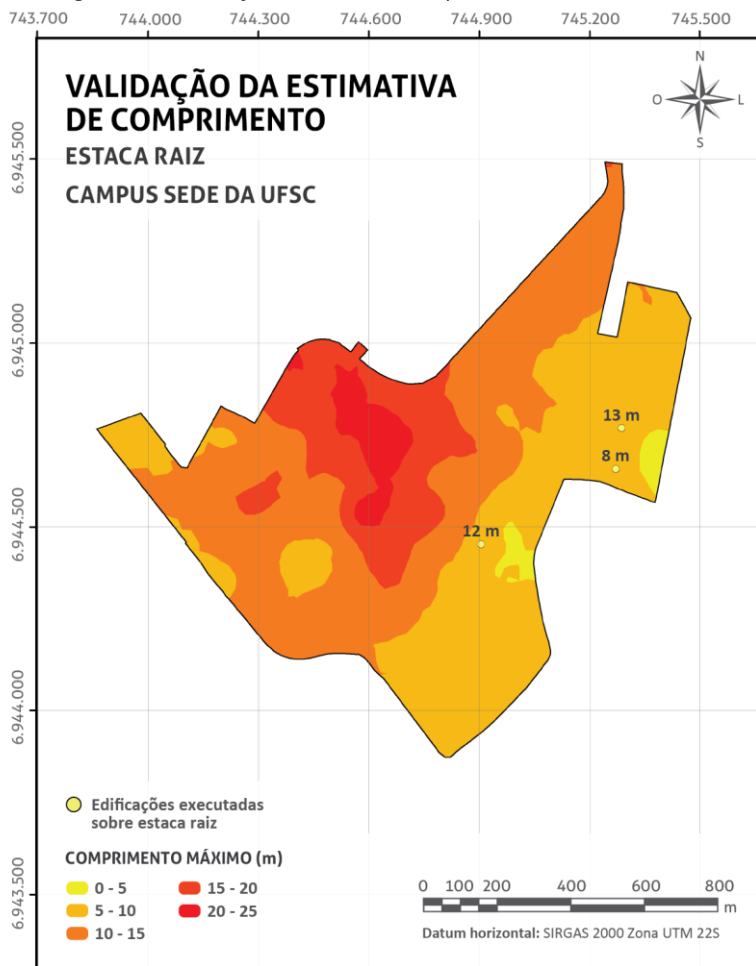


Acerca das estacas pré-moldadas executadas no Campus sede da UFSC, foi possível coletar informações de apenas duas edificações, mas sem obter o diâmetro da fundação. Dessa forma, em função da baixa estatura dos prédios em questão, a comparação dos comprimentos das fundações executadas foi realizada com a carta de comprimento máximo de estaca pré-moldada de diâmetro inferior a 30 cm. Assim,

verificou-se que ambos os pontos não coincidiram, em termos de comprimento, com a faixa indicada na carta, mas estão situados em regiões de transição, haja vista a proximidade com a área destinada aos seus respectivos comprimentos. Além disso, em termos de orientação, a carta mostra-se coerente, uma vez que um dos pontos dispõe de fundações com comprimento médio de 14 metros e caiu sobre uma região destinada à comprimentos entre 15 e 20 metros, enquanto o outro, que apresenta estaca de 12 metros, coincidiu com a zona em que o limite superior é de 10 metros.



Figura 75 – Validação da carta de comprimento máximo de estaca raiz



Base de dados: Acervo de laudos de fundações executadas. Mapa do Campus DOMP | Formato vetorial  
 Elaboração: Eng. Civil Juliana Vieira dos Santos (2016)

Por fim, a validação da carta de comprimento máximo de estaca raiz se deu por meio de apenas três pontos referentes a fundações já executadas, as quais situam-se próximas umas das outras, na porção sudeste do Campus sede da UFSC. A Figura 75 mostra que um dos pontos foi condizente com o indicativo fornecido pela carta, enquanto os outros dois indicaram comprimentos de estacas superiores à faixa em que caíram (12 e 13 metros). Entretanto, esses pontos correspondem à

próxima faixa, referente a comprimento máximo de estacas entre 10 e 15 metros, a qual situa-se anexa à região em que eles se encontram. Nesse caso, a validação seria melhor verificada com a coleta de informações de um maior número de pontos.

Diante das análises realizadas, constata-se que o modelo se mostrou adequado, haja vista a representação das cartas de orientação quanto ao tipo de fundação e de comprimento máximo de estacas estarem próximas à realidade para a maior parte dos casos observados. Ainda, haja vista que as cartas mencionadas se utilizam de parâmetros adotados na elaboração das demais cartas, verifica-se que, indiretamente, os outros resultados gerados no estudo puderam ser legitimados. Desse modo, reforçando o caráter orientativo do trabalho, seus resultados podem ser utilizados na obtenção expedita de subsídios ao técnico ao planejamento e à tomada de decisão.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

O presente capítulo apresenta as considerações finais do trabalho desenvolvido no âmbito dessa dissertação, por meio de uma reflexão sobre seus objetivos e de recomendações deixadas para estudos posteriores.

### 6.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho tratou do desenvolvimento de um banco de dados geológico-geotécnico em ambiente SIG por meio de informações provenientes de laudos de sondagens SPT do Campus sede da UFSC. Assim, foram descritas as etapas correspondentes a preparação e estruturação dos dados, desde seu levantamento e digitalização até o georreferenciamento e relacionamento com os mapas temáticos gerados. Nesse sentido, cabe mencionar que uma das maiores dificuldades enfrentadas na realização deste trabalho foi localizar os furos de sondagens, visto que a grande maioria deles não dispunha de coordenadas para sua identificação espacial. Assim, sugere-se que nas próximas contratações de serviços de sondagem no Campus da UFSC seja considerada como um requisito obrigatório a inserção dessa informação, de modo a possibilitar análises posteriores mais práticas e precisas.

Posteriormente, o estudo apresentou o potencial do uso do banco de dados para análise do perfil geológico-geotécnico e elaboração de cartas de aptidão para fundações, mediante processamento dos dados SPT associados a métodos semiempíricos e empíricos disponíveis na literatura. Nesse contexto, a ferramenta SIG se mostrou imprescindível, visto que sua interface permitiu realizar, de maneira prática e eficiente, as operações de georreferenciamento, ajuste e vetorização dos elementos do banco de dados e, principalmente, a aplicação da modelagem geoestatística para realização das interpolações, gerando as cartas apresentadas ao longo deste estudo. Além disso, a possibilidade de fazer interações entre os produtos obtidos no decorrer do trabalho conferiu praticidade na execução das cartas e clara visualização dos resultados, de modo a favorecer sua interpretação.

Ao verificar as cartas de tipos de solos e as cartas de aptidão para fundação desenvolvidas para representar o comportamento do subsolo do Campus sede da UFSC, algumas características da região puderam ser extraídas. Primeiramente, foi possível verificar que a área de estudo é composta por solos moles, propriedade das argilas e dos siltes, especialmente em sua porção central-norte, a qual corresponde à última região a apresentar algum tipo de solo antes de atingir o impenetrável a percussão, a 25 metros de profundidade. Por outro lado, as zonas a oeste e sudeste do Campus apresentam subsolo com característica de solos residuais, visto que se situam em locais de maiores altitudes face as demais zonas analisadas e possuem resistência mais elevada quando comparados aos solos sedimentares.

Acerca das superfícies de impenetrável à percussão e freática, verificou-se que 95% da área de estudo apresenta impenetrável até 17,5 metros de profundidade, enquanto que o nível d'água, de forma geral, varia de 0 a 9 metros, com mais de 50% da área do Campus apresentando lençol freático a menos de 2 metros de profundidade. No entanto, ao analisar a sazonalidade das chuvas em Florianópolis, constatou-se a influência desse fator na variação do nível d'água, visto que no período seco 43% da área de estudo apresentou nível d'água até 2 metros de profundidade, enquanto que 70,8% foi o percentual de área atingida pela superfície freática até 2 metros de profundidade no período chuvoso.

Para o Campus sede da UFSC, as cartas de orientação quanto ao tipo de fundação indicaram zonas propícias para execução de fundações superficiais nas regiões oeste e sudeste, para ambas as profundidades analisadas, as quais puderam ser validadas mediante a comparação com informações coletadas de laudos de fundações já executadas na área de estudo. Ademais, em termos de fundações superficiais, as cartas de tensão admissível mostraram um ganho de resistência do solo a 4 metros de profundidade em relação às profundidades inferiores.

Outra análise realizada passível de ser desempenhada por meio do processamento de dados SPT em ambiente SIG foi o desenvolvimento das cartas de isovalores de  $N_{SPT}$ , que demonstraram decréscimo de valores de resistência do solo das porções laterais e inferiores à região centro-norte, que contém solos moles e, conseqüentemente, de menores resistências. Ainda, as cartas que estimam o comprimento máximo de estacas indicaram regiões com maior comprimento de estaca

nos locais que apresentam impenetráveis à percussão mais profundos, como na porção centro-norte do Campus. Por outro lado, a região sudeste demonstrou ser uma área com previsão de menor comprimento de estaca.

É importante mencionar que, considerando a variabilidade que envolve os solos, a necessidade de sondagens do terreno não pode ser descartada. Nesse sentido, Zuquette (1993) reforça que o mapeamento geotécnico tem sempre o objetivo de orientar e não substituir as investigações geotécnicas locais. Assim, as cartas produzidas neste estudo apresentam um caráter orientativo acerca da aptidão do subsolo do Campus sede da UFSC em termos de fundação e, portanto, não substituem a necessidade de investigações geotécnicas pontuais para obtenção de subsídios específicos ao dimensionamento de elementos estruturais.

Os resultados do estudo têm a finalidade de fornecer subsídios técnicos de apoio à tomada de decisão por parte dos gestores do Campus sede da UFSC e demais interessados, visto que o banco de dados desenvolvido permite conhecer geograficamente os tipos de solos existentes na área de estudo, além de parâmetros geotécnicos importantes, fornecendo informações necessárias à elaboração de trabalhos de engenharia e ao planejamento territorial. Ademais, a base de dados SIG e os mapas temáticos gerados servem como ferramentas úteis, passíveis de serem complementadas e atualizadas, fornecendo orientação sobre a continuidade espacial das propriedades geotécnicas do Campus sede da UFSC.

Em termos práticos, os resultados apresentados neste estudo mostram-se aplicáveis no direcionamento das próximas construções, na orientação quanto ao tipo de fundação e no seu dimensionamento, assim como na análise preliminar de investimentos, haja vista a possibilidade de se prever a profundidade das sondagens e, conseqüentemente, o tempo despendido para os ensaios, aprimorando as estimativas de custos durante a análise de viabilidade dos projetos. Além disso, as cartas podem contribuir na análise dos resultados de sondagens posteriormente contratadas e também no cálculo estimado de movimentação de terra necessária para executar determinada obra. Dessa forma, o trabalho desenvolvido contribui para fundamentar as ações de planejamento e gestão de uso do solo e a instalação de empreendimentos no Campus sede da UFSC.

## 6.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Não obstante a abrangência do presente trabalho, tendo em vista as limitações de recursos, sugere-se seu aprofundamento em estudos futuros no que se refere às seguintes questões:

- Coletar junto a empresas de sondagem, construtoras e Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF) laudos de sondagens SPT de regiões situadas no entorno do Campus sede da UFSC, de forma a aprimorar as análises geradas próximas às bordas da área de estudo.
- Utilizar as informações dos dados SPT e da topografia da região para complementar o mapeamento geotécnico desenvolvido por Santos (1997), melhorando sua escala.
- Elaborar perfis estratigráficos do Campus sede da UFSC por meio das informações cadastradas no banco de dados provenientes das sondagens SPT.
- Realizar análises pontuais para setores específicos do Campus sede da UFSC, em regiões mais densas de sondagens SPT, a fim de aprimorar as análises e, consequentemente, a precisão das cartas geradas.

Por fim, destaca-se que a contínua atualização da base de dados geológico-geotécnicos, assim como a incorporação de novas informações são recomendadas, haja vista que a autenticidade das análises geradas é diretamente proporcional à robustez do banco de dados utilizado nos estudos.

## REFERÊNCIAS

- ACHTERBERG, H. A. **Estudo sobre a aplicação da classificação geotécnica MCT para um solo residual de Santa Cruz do Sul-RS**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade de Santa Cruz. Santa Cruz do Sul, 2014. 82p.
- AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Classificação do perfil**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_5\\_2212200611537.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_5_2212200611537.html)>. Acesso em: 01 jul. 2016.
- AL-ANI, H. OH, E.; CHAI, G.; AL-UZAIIRY, B. N. GIS- Interpolated Geotechnical Zonation Maps in Surfers Paradise, Australia. **GEOProcessing 2014: The Sixth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services**. Barcelona, 2014.
- AL-JABBAN, W. J. M. Estimation of Standard Penetration Test (SPT) of Hilla City-Iraq by Using GPS Coordination. **Jordan Journal of Civil Engineering**, vol. 7, nº. 2. Jordânia, 2013.
- ALLESSI, C. C. **Análise estatística e geoestatística da distribuição de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Rn e microbiota em um campo petrolífero do recôncavo baiano (BA)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. 218p. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/18300/18300\\_1.PDF](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/18300/18300_1.PDF)>. Acesso em: 29 mai. 2016.
- ALMEIDA, E. S.; RODRIGUES, R. M. Caracterização geológica da Ilha de Santa Catarina a partir de técnicas de SR e SIG visando a implementação de túneis viários. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), INPE, p.1695-1702**. Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <[marte.sid.inpe.br/col/Itid.inpe.br/sbsr/2002/11.19.15.24/doc/14\\_260.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/Itid.inpe.br/sbsr/2002/11.19.15.24/doc/14_260.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2016.
- ALMEIDA, G. A. G.; ALBRECHT, K. J. Banco de dados digital das sondagens de simples reconhecimento (SPT): Subsídio ao planejamento urbano. In: **10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**. Ouro Preto, 2002.
- ALVES, P. C. **Cartografia geotécnica para obras subterrâneas: condições de construções de garagens subterrâneas e metrô no plano piloto de Brasília**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília (UnB). Brasília, 2009. 185p.
- ANBAZHAGAN, P.; SITHARAM, T. G. Site characterization studies of Bangalore using a geophysical method. In: **Geotechnical and Geophysical Site**

**Characterization – Huang & Mayne**, Taylor & Francis Group. London, 2008. ISBN: 978-0-415-46936-4.

ANDRADE, A. R. **Caracterização dos elementos de fundações aplicáveis em edificações na região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal em Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2003. 143p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84644>>. Acesso em: 6 jun. 2016.

AOKI, N. VELLOSO, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: **V Panamerican conference on soil mechanics and Foundation engineering**, vol. 1, p.367-376. Buenos Aires, 1975.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio - Elaboração**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 6502: Rochas e solos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

AZEVEDO, A. C.; REINERT, D. J.; SANTOS, D. R.; PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D. **Fundamentos da ciência do solo**. Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, 2007. 169p. Disponível em: [http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Disciplinas/FundCiSolo/Apostila\\_FundaCiSolo.pdf](http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Disciplinas/FundCiSolo/Apostila_FundaCiSolo.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2016.



BARROS, E. U. A. **Utilização do geoprocessamento no estudo de suscetibilidade à erosão na área de influência da UHE – Barra do Peixe**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília (UnB). Brasília, 1996. 119p.

BECKER, D. E. Site characterization. In: **Geotechnical and geo-environmental engineering handbook, vol. 1, 1088p**. Kluwer Academic Publishing, USA, 2001.

BELINCANTA, A.; FERRAZ, R. L. **Contribuição da Universidade Estadual de Maringá no entendimento da sondagem de simples reconhecimento com SPT, vol. 22, nº 5, p.1463-1472**. Maringá: Acta Scientiarum, 2000. ISSN: 1415-6814. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/File/3105/2233>>. Acessos em: 7 jun. 2016.

BERBERIAN, D. **Sondagens e ensaios in situ para engenharia**. 8ª ed., Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro: COPE, 2012. ISBN: 85-7238-011-6.

BORGES, U. N. **Mapeamento das Áreas de Conflito com a Legislação e de Riscos Decorrentes da Instalação de Postos de Combustíveis na Cidade de João Pessoa – PB Utilizando Sistema de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa, 2004. 145p.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986. 193p. ISBN: 0-19-854592-0.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 1998. 19p.

CÂMARA, K. R. R.; PEREIRA, A. C. Análise de perfis de sondagem SPT e caracterização geotécnica de solos do município de natal. In: **HOLOS, [S.l.], v. 1, p. 38-53, dez. 2007**. ISSN: 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/56/62>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implantação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciados (SPRING)**. Dissertação (Mestrado). INPE, São José dos Campos, 1997. 148p. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.08.47.41/doc/publicacao.pdf?ibiurl.language=pt-BR>>. Acesso em: 29 jul. 2016.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações - Volume 1.** 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996. 234p.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações, volume 1: fundamentos.** 6ª. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2005. 512p.

CARAMEZ, M.; HIGASHI, R.R. Utilização de técnicas de geoprocessamento através de um SIG para a estimativa de características mecânicas dos solos do município de Florianópolis. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), INPE, p.8849.** Curitiba, 2011. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1257.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

CARUSO, C; QUARTA, F. Interpolation Methods Comparison. In: **Computers Mathematical application, vol. 35, nº 12, p.109-126.** Great Britain, 1998.

CARVALHO, J. C.; GITIRANA JUNIOR, G. F. N.; MACHADO, S. L.; MARCARENHA, M. M. A.; SILVA FILHO, F. C. **Solos não saturados no contexto geotécnico.** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), 2015. ISBN: 978-8-56795-003-7.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. (2003). **Tensão Admissível em Fundações Diretas.** 1ª ed. São Carlos: Rima, 2003. 135p. ISBN: 85-86552-55-0.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por Estacas - Projeto Geotécnico.** São Paulo: Oficina de textos, 2010. 96p. ISBN: 978-85-7975-004-5.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas - Projeto Geotécnico.** São Paulo: Oficina de textos, 2011. 140p. ISBN: 978-85-7975-035-9.

COELHO, A. M.; ALVES, M. G.; OLIVEIRA, M. G. O uso de técnicas de geoprocessamento e mapeamento geológico-geotécnico na elaboração do mapa de potencial de uso e ocupação do solo do município de Itaperuna/RJ. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), INPE, p. 2447-2454.** Florianópolis, 2007.

COUTINHO, R. Q.; SEVERO R. N. F. Investigação geotécnica para projeto de estabilidade de encostas. In: **5ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (COBRAE), vol. 1, p. 55.** São Paulo, 2009.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** 6ª ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 562p.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 562p.

DAVISON DIAS, R. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. In: **Revista do Instituto Geológico, v. especial, p.51-55**. São Paulo, 1995. Disponível em: <[http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-929X1995000200007&lng=pt&nrm=iso](http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-929X1995000200007&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 5 ago. 2016.

DÉCOURT, L. The Standard Penetration Test – State of the art report. In: **XII international conference on soil mechanics and foundation engineering (ICSMFE), vol.4. p.2405-2416**. Rio de Janeiro, 1989.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT. In: **VI Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia de fundações, vol. 1, p.45-54**. Rio de Janeiro, 1978.

DIAS, M. J. **Distribuição espacial das características físicas e químicas do solo de cerrado utilizando krigagem indicativa**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Anápolis, 2013. 80p.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. Susceptibilidade a deslizamentos: Estudo de caso no Bairro Saco Grande, Florianópolis - SC. In: **Revista Caminhos de Geografia, 3(6), p.57-73**. Uberlândia, 2002. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/15295/8594>>. Acesso em: 05 ago. 2016. ISSN: 1678-6343.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004. ISBN: 85-7383-260-6.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª edição. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2013. 353p. ISSN 978-85-7035-198-2.

FAZAN, A. J.; POZ, A. P. D. Extração de contornos aproximados de telhados de edifícios a partir de dados de varredura a laser. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), INPE, P.5447-5454**. Curitiba, 2011.

FELGUEIRAS, C. A. **Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas**. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE),

1999. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab\\_cientific/selper8f.pdf](http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2016.

FOLLE, D. **O estudo geoestatístico de sondagens SPT para geração de mapas auxiliares em obras de engenharia**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2002. 217p.

FONTELLES, H. R. N. **Caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do município de Fortaleza (CE) com base em geoestatística**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). São Carlos, 2003. 146p.

FORTES, L. R. G. M. **Processo de modelagem de dados em sistema de informação geográfica**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 1998. 211p.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Solos da formação geológica ao uso na engenharia**. 2ª ed. Recife: Ed.Universitária da UFPE, 2008. 198p. ISBN: 978-85-7315-482-5.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. O.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. **Fundações: Teoria e Prática**. 2ª ed., São Paulo: Editora PINI, 1998. ISBN: 85-7266-098-4. 758p.

HERRMANN, M. L. P. **Aspectos ambientais da porção central da Ilha de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 1989. 254p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/111815>>. Acesso em: 5 ago. 2016.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2006. 486p. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0428.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

HUIJBREGTS, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: **Display and analysis of spatial data**, p.38-53. New York: John Wiley, 1975.

HUMYRA, T.; AWALL, MD. R.; MOFIZ, S. A.; SOBHAN, MD. A. Preparation of SPT Contour Map of Rajshahi City Area and its Application to Foundation Design. **International Journal of Civil & Environmental. Engineering**, vol. 12 nº. 2, p.11-17. Paquistão, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Ferramenta Cidades@ - dados estatísticos dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420240>>. Acesso em: 01 ago. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 26 mai. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília, Embrapa, 2004. ISBN: 85-7383-260-6. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>>. Acesso em: 16 mai. 2016.

JAKOB, A. A. E. **Krigagem como método de análise de dados demográficos**. 21p. Ouro Preto: XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2002.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: **XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais (ABEP)**. Caxambu, 2006. Disponível em: <[http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006\\_388.pdf](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006_388.pdf)>. Acesso em: 28 jul. 2016.

KULHAWY, F. H.; PHOON, K. K. Observations on geotechnical reliability-based design development in North America. In: **Foundation Design Codes and Soil Investigation in view of International Harmonization and Performance**, 2002. Disponível em: <[http://azul.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fundaciones/CPaper\\_IWSKamakura\\_2002a.pdf](http://azul.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fundaciones/CPaper_IWSKamakura_2002a.pdf)>. Acesso em: 01 ago. 2016.

LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A. B. Spatial soil information system and spatial soil inference system: perspectives for Digital Soil Mapping. In: **Digital soil mapping: an introductory perspective**. Elsevier: Amsterdam, 2007.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Lab. Geomatemática, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 2000.

LANDIM, P.M.B; STURARO, J.R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Geomatemática, Texto Didático 6, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~edson/Artigos/Paulo%20M%20Barbosa%20Landim.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

LEITE, P. A. M. **Análise da resistência do solo do município de Porto Alegre através de sondagem SPT e a comparação com as litologias da região**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2015.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

LIMA, M. J. C. P. A. **Prospecção geotécnica do subsolo**. 1ª ed., Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 1979. 104p. ISBN: 8521602774.

LONGLEY, P. A. GOODCHILD, M. F. MAGUIRE, D. J. RHIND D. W. **New Developments in Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**. 24 p. Disponível em: <[http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis\\_book\\_abridged/files/pref.pdf](http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/pref.pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2016.

MARANGON, M. **Geotecnia de fundações**. Notas de aula. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Juiz de Fora, 2009. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/pagina-do-aluno/notas-de-aula/geotecnia-de-fundacoes/>>. Acesso em: 19 de mai. 2016

MARINHO, F. A. M. Investigação geotécnica para quê? In: **IV Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (COBRAE)**, vol. 2. Salvador, 2005.

MEDINA, A. S.; MEDINA, S. S. S. A representação da superfície topográfica através de modelos digitais de terreno. In: **XVIII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e VII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design (GRAPHICA)**. Curitiba/PR, 2007. Disponível em: <[http://www.exatas.ufpr.br/porta1/docs\\_deg1af/artigos\\_graphica/AREPRESENTACAODASUPERFICIETOPOGRAFICA.pdf](http://www.exatas.ufpr.br/porta1/docs_deg1af/artigos_graphica/AREPRESENTACAODASUPERFICIETOPOGRAFICA.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2016.

MHASKE S. M.; CHOUDHURY, D. Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments. In: **Bulletin of engineering geology and the environment**, vol. 66, issue 2, p.203–213. Berlin: Springer, 2007.

MHASKE S. M.; CHOUDHURY, D. Geospatial contour mapping of shear wave velocity for Mumbai city. In: **Natural hazards**, vol. 59, issue 1, p.317–327. Países baixos, 2011.

MILITIISKY, J.; CONSOLI, N.; SCHNAID F. **Patologia das fundações**. 2ª ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015. 243p. ISBN: 978-85-7975-183-7.

MILITITSKY, J.; SCHNAID, F. Uso do SPT em Fundações – Possibilidades e Limitações, Avaliação Crítica. In: **XXVII Jornadas sudamericanas de ingeniería estructural**, vol 6, p.125–138. Tucuman, 1995.

NAMIKAWA, L. M.; FELGUEIRAS, C. A.; MURA, J. C.; ROSIM, S.; LOPES, E. S. **S. Modelagem numérica de terreno e aplicações**. São José dos Campos: Deposited in the URLib collection, 2003. 158p. INPE-9900-PUD/129.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995. 213p.

OLIVEIRA J.B.; JACOMINE P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes Gerais dos Solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. São Paulo: Nobel, 1991. 116p.

PAREDES, E. A. **Sistema de Informação Geográfica – Princípios e Aplicações (Geoprocessamento)**. São Paulo: Érica, 1994. 675p.

PASTORE, E. L.; FORTES, R. M. Caracterização e classificação de solos. In: **Geologia de Engenharia – Décimo Segundo Capítulo**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

PESCIM, E. E.; URBANO, M. R.; DEMÉTRIO, C. G. B. Estimação da densidade do solo em uma região da Amazônia para o cálculo de estoques de carbono do solo. In: **19º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística (SINAPE)**. São Pedro, 2010. Disponível em: <[http://www.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/resumo%20estendido\\_geo.pdf](http://www.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/resumo%20estendido_geo.pdf)>. Acesso em: 01 mai. 2016.

PIMENTEL, H. W. **Banco de dados georeferenciado e carta geotécnica preliminar de fundações da região centro-norte de Fortaleza-CE**. Dissertação

(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015. 139p.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 355 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS (PMF). **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico (PMISB). Produto 2: Diagnóstico da caracterização física**. Florianópolis, 2010. Disponível em: <[portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/06\\_06\\_2012\\_14.04.25.da52287614078c9d7de177baaa656c8f.pdf](http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/06_06_2012_14.04.25.da52287614078c9d7de177baaa656c8f.pdf)>. Acesso em: 5 ago. 2016.

QUARESMA, A. R.; DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A. R.; ALMEIDA, M. S. S.; DANZIGER, F. Investigações Geotécnicas. In: **Fundações: Teoria e Prática – Terceiro Capítulo, p.119-162**. 2ª ed., São Paulo: Editora PINI, 1998. ISBN: 85-7266-098-4.

RAJESH, S.; SHANKARAKURURAMAN, D.; DAS, A. A GIS / LIS Approach for study on suitability of Shallow Foundation at Southern Chennai, India. In: **2nd Annual Asian Conference (MAPASIA)**. Kuala Lumpur, 2003.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 3. ed., São Paulo: Ed. Zigurate, 2011. 239p. ISBN: 978-85-85570-10-1.

REINERT, J. **Estudo do comportamento das fundações profundas de obra industrial no litoral fluminense usando abordagem probabilística**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/28286>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

REIS, M. H.; GRIEBELER, N. P.; SARMENTO, P. H. L.; OLIVEIRA, L. F. C.; OLIVEIRA, J. M. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Brasil, p. 229-236, INPE**. Goiânia, 2005.

Sakunthala Devi, S.; Stalin, V. K. Development of soil suitability map for Geotechnical applications using GIS approach. In: **Indian Geotechnical Conference, p.797-800**. Cochin, 2011.



SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 1997. 231p.

SANTOS, J. V.; THIESEN, S.; HIGASHI, R. R. Geographic Information System: Methodological Proposal for the Development of Foundation Maps Based on SPT Investigation. In: **15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**. Buenos Aires, 2015. ISBN: 978-1-61499-602-6 (print), ISBN: 978-1-61499-603-3 (online).

SBROGLIA, R. M. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2015. 187p. Disponível em <<http://www.bu.ufsc.br/teses/PGCN0560-D.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2016.

SHAHRI, A.; RAJABLOU, R.; GHADERI, A. An improved method for seismic site characterization with emphasis on liquefaction phenomena. **Open Journal of Earthquake Research**, vol. 1, nº. 2, p.13-21. Scientific Research, 2012.

SHARMA, B.; RAHMAN, S. K.; SAIKIA, B. D. Use of contour maps for preliminary assesment of subsoil of Guwahati city. **Proceedings of Indian Geotechnical Conference**. Roorkee, 2013.

SHARMA, B.; RAHMAN, S. K. Use of GIS Based Maps for Preliminary Assessment of Subsoil of Guwahati City. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, 4, p. 106-116. Scientific Research Publishing, 2016. ISSN: 2327-4336 (print). ISSN: 2327-4344 (online).

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Editora Oficina de textos, 2000. 189p. ISBN: 978-8-57975-059-5.

SILVA, C. R.; QUINTAS, M. C. L.; CENTENO, J. A. S. Estudo do método de interpolação do inverso da distância a uma potência. In: **II Simpósio Brasileiro de Geomática | V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, p.57-62. Presidente Prudente, 2007. ISSN: 1981-6251.

SILVA, M.; HORN FILHO, N. O. Roteiro geológico-ambiental ao longo da planície costeira da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. In: **Revista Discente Expressões Geográficas**, n. 07, ano VII, p.210-231. Florianópolis, 2011.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. In: **IDESIA**, vol. 26, n. 2, p.75-81. Chile, 2008.

SOARES, W. C. **Banco de dados geológico-geotécnicos com base em sondagens a percussão e uso de SIG: Análise espacial da profundidade do lençol freático e do Nspt para obras de fundação em João Pessoa/PB**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2011. 215p.

SOUZA, L. A. P.; SILVA, R. F.; IYOMASA, W. S. Métodos de Investigação. In: **Geologia de Engenharia – Décimo Primeiro Capítulo**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

SKEMPTON, A. W. The bearing capacity of clays. In: **Building Research Congress**, vol. 1, p.180-189. Londres, 1951.

SKEMPTON, A. W. Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. In: **Géotechnique**, vol. 36, issue 3, p.425-447. Ice Publishing, 1986. ISSN: 0016-8505 (print). ISSN: 1751-7656 (online).

STALIN, V. K.; ARUN MURUGAN, R. B. Geographic information system for the development of soil suitability map in south Chennai, India. **Arabian Journal of Geosciences**, vol. 8, issue 3, p.1415-1437. Springer, 2015.

TALAMINI NETO, E. **Caracterização geotécnica do subsolo de Curitiba para o planejamento de ocupação do espaço subterrâneo**. 2001. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06102006-083510/>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

TEIXEIRA, A. H. Projeto e execução de fundações. In: **3º Seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia (SEFE)**, vol. 1, p.33-50. São Paulo, 1996.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. (1996). Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: **Fundações: teoria e prática – Sétimo Capítulo**, p.227-264. 2ª ed., São Paulo: Editora PINI, 1998. ISBN: 85-7266-098-4.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1992.

TEIXEIRA, C. Z. **Um Estudo de viabilidade para fundações rasas de construções de pequeno porte na região de Belo Horizonte usando ferramentas SIG**. VI Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, IGEO, UFMG, Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <<http://csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/cornelio2003.pdf>>. Acesso em: 4 de jun. 2016.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, N. L. S. **Avaliação da krigagem ordinária e simulação sequencial gaussiana na interpolação da emissão de CO<sub>2</sub> do solo**. In: II Simpósio de geoestatística aplicada em ciências agrárias. 2011. ISSN: 2236-2118. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/sgea/Docs2011/7.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

THIESEN, S. **Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT – um estudo de caso em Blumenau/SC**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2016. 173p.

THIESEN, S.; SANTOS, J. V.; HIGASHI, R. R. Application of GIS Tools for Geotechnical Mapping - a Case Study in Brazil. In: **International Conference on Geotechnical Engineering**. ICI CGE Colombo 2015, Colombo/Sri Lanka, 2015. ISBN: 978-955-1411-01-5.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Engineering designs: geotechnical investigations**. Manual 1110-1-1804. 2001.

VALERIANO, M. M. Mapeamento da declividade em microbacias com Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 7, nº.2, p.303-310. Campina Grande, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n2/v7n2a20.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2016.

VAZ, L. F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Revista Solos e Rochas**, vol. 19, n. 2, p.117-136. São Paulo, 1996.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: **Tópicos em Ciências do Solo**, vol. 4, p.145-192. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

VILELA, L. C. **Comparação entre as redes neurais artificiais e o método de interpolação krigagem aplicados à pesquisa agrônômica**. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Botucatu, 2004. 136p. Disponível em: <<http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/167090>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

WANG, X. J.; LIU, R. M. Spatial Analysis and Eutrophication Assessment for Chlorophyll a in Taihu Lake. In: **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. **101**, issue **1**, p.167–174. Kluwer Academic Publishers, 2005. ISSN: 0167-6369 (print). ISSN: 1573-2959 (online).

WELTMAN, A. J.; HEAD, J. M. **Site investigation manual**. CIRIA Special publication 25/PSA Civil Eng. Tech. Guide 35. London, 1983.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Ed.). **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**, p.83-116. New York: Elsevier, 1983.

YABIKU, V. M. **Análise de dados de poços tubulares através de ferramentas SIG na Bacia do Rio Jacutinga e Contíguos no Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2015. 118p.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2013. 215p.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). 369p. São Carlos, 1993.